



Universidad  
Carlos III de Madrid

Dpto. de INGENIERIA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**Diseño e Implementación de un Excitador  
Servohidráulico**

**Autor:** Alberto Matador Baena

**Tutor:** Alberto Jardón Huete

**Cotutor:** Rafael Roa Gil



## **Agradecimientos**

Una vez llegado a este punto no puedo dejar de recordar muchos de los momentos vividos en este tramo de mi vida que llega a su fin. Cuando entré en Ingeniería Industrial, este momento quedaba tan lejano que creía que nunca llegaría y ahora ya estoy escribiendo mi proyecto de fin de carrera. He pasado momentos malos y buenos, sobre todo buenos, pero todo eso queda atrás y ahora solo queda la satisfacción de poder decir, “Por fin, soy Ingeniero”.

Este proyecto se lo dedico especialmente a mi hermano Nacho por toda la ayuda que me ha ofrecido durante todos estos años y que me sigue ofreciendo y sobre todo por la paciencia y dedicación que ha tenido muchas veces hacia mí. Aun me acuerdo de cuando íbamos juntos a los exámenes y pensábamos en cada parada del metro, me bajo y me vuelvo para casa. Pero al final, todo pasa y esos momentos se recuerdan con cariño.

Espero poder devolverte algún día todo lo que has hecho. Muchas gracias por todo.

A mis padres. Gracias por todo, gracias por los valores que me habéis inculcado, gracias por la educación recibida y, sobretodo, gracias por transmitirme un sentimiento de familia que solo se enseña a base de cariño. Fuisteis los que me animaron a continuar con estos estudios que llegan a su fin.

A mi abuela Adela que me acogió en su casa en los primeros años de carrera y ha estado todo este tiempo pendiente y preocupada por mí, espero no haberte dado muchos quebraderos de cabeza. Muchas gracias.

A mi hermana Alba que siempre está con una sonrisa en la cara, bueno casi siempre, alegrando a la familia y sé que siempre me apoya en todo, espero no tener que decir más “te lo dije!!”. Ya pronto te toca a ti terminar tus estudios que tanto esfuerzo te están suponiendo. Mucho ánimo y muchas gracias.

A mi novia Cristina. Hemos estado juntos ya 8 años y has vivido en primera persona todas mis elucubraciones mentales, mis preocupaciones y mis alegrías. Has estado siempre a mi lado, apoyándome en todo y sobre todo haciéndome mejor persona, espero que nuestro camino juntos no se separe nunca. Que más decir que tú no sepas, 8 años dan para mucho... y no cambiaria ni un minuto de ellos, Muchas gracias por todo.

Por último agradecer a mis amigos de la universidad toda la ayuda que me han ofrecido en todos estos años, no solo apuntes y prácticas, sino también los buenos ratos que hemos pasado, y que espero que no se pierdan con el tiempo.





## ***Diseño e Implementación de un Excitador Servohidráulico***

**Autor:** Alberto Matador Baena  
**Tutor:** Alberto Jardón Huete  
**Cotutor:** Rafael Roa Gil





# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>EQUIPO DE CONTROL .....</b>	<b>27</b>
3.1	LAZOS DE CONTROL .....	28
3.1.2	<i>Transductores .....</i>	35
3.1.2.1	<i>Transductor de desplazamiento .....</i>	41
3.1.2.2	<i>Célula de carga .....</i>	45
3.1.3	<i>Acelerómetro .....</i>	53
3.1.4	<i>Actuador hidráulico .....</i>	56
3.1.5	<i>Introducción a los sistemas de adquisición de datos .....</i>	60
3.1.6	<i>DAQ .....</i>	62
3.1.6.1	<i>Tarjeta de adquisición de datos PCI 6221 .....</i>	62
3.1.6.2	<i>Conector BNC 2110 .....</i>	67
3.1.6.3	<i>Cable NI SHC68-68-EPM .....</i>	67
3.1.6.4	<i>PC .....</i>	68
3.2	LABVIEW COMO LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN .....	69
<b>4</b>	<b>DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>76</b>
4.1	SISTEMA ELÉCTRICO .....	77
4.2	SISTEMA DE CONTROL .....	82
4.2.1	<i>Configuración tarjeta PCI .....</i>	83
4.2.2	<i>Interfaz de Usuario .....</i>	86
4.2.3	<i>Gestión del proyecto Software .....</i>	110
4.2.4	<i>Diagrama de Estados .....</i>	112
4.3	SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA PORTABLE .....	120
4.3.1	<i>Selección hardware .....</i>	121
4.3.1.1	<i>Hardware PXI .....</i>	121
4.3.1.2	<i>Hardware Beckhoff .....</i>	124
4.3.1.3	<i>Hardware CompactRio .....</i>	126
4.3.2	<i>Diseño Mecánico .....</i>	133
4.3.3	<i>Diseño Software .....</i>	136
4.3.3.1	<i>Arquitectura Software .....</i>	136
4.3.4	<i>Comunicaciones del sistema .....</i>	140
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTES .....</b>	<b>146</b>
5.1	COSTES DIRECTOS .....	148
5.2	RESUMEN DE COSTES .....	155
5.3	COSTES DEL SISTEMA PORTABLE .....	156
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>160</b>



<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>164</b>
7.1 BIBILOGRAFÍA.....	165





# ÍNDICE DE FIGURAS

## Capítulo 2

2.1 Foto de la instalación .....	25
2.2 Controlador Portable .....	25

## Capítulo 3

3.1 Arquitectura del sistema.....	28
3.2 Sistema de control .....	29
3.3 Proporcional.....	30
3.4 Integral.....	31
3.5 Esquema eléctrico del controlador .....	31
3.6 Generación de ondas.....	34
3.7 Abacus.....	35
3.8 Precisión .....	37
3.10 Histéresis .....	38
3.9 Repetitividad .....	38
3.11 Sensibilidad .....	39
3.12 Error de Cero .....	40
3.13 Linealidad .....	41
3.14 LVDT .....	42
3.15 Desplazamiento a la izquierda	Posición de equilibrio
Desplazamiento a la derecha.....	43
3.16 Acondicionador LVDT .....	45
3.17 Extensión ( $\Delta L$ ) .....	46
3.18 Galga extensiométrica metálica adhesiva .....	46
3.19 Circuito en Puente de resistencias con un solo elemento variable.....	46
3.20 Circuito en Puente de resistencias con dos elementos variables.....	47
3.21 Circuito en Puente de resistencias con todos los elementos variables.....	47
3.22 Célula de carga de compresión.....	49
3.23 Célula de carga de tensión y compresión.....	49
3.24 Célula de carga con viga en forma de S.....	50
3.25 Célula de carga de flexión de viga.....	50
3.26 Célula de carga de un solo punto.....	50
3.27 Acondicionador Célula de carga y Célula de carga de tensión y compresión .....	51
3.28 Carga Descarga .....	52
3.29 Carga Descarga.....	53
3.30 Relación aceleración-variación de potencial proporcionado por un acelerómetro.....	53
3.31 Respuesta en frecuencia de un acelerómetro .....	55
3.32 Dimensiones del servo actuador .....	58
3.33 Servoactuador.....	59
3.34 Arquitectura de un sistema de adquisición .....	60
3.35 PCI 6221 .....	64
3.36 Bloque conector BNC 2110 .....	67
3.37 Cable NI SHC68-68-EPM.....	68
3.38 ej. De panel frontal de Labview .....	71
3.39 ej. De diagrama de bloques de Labview.....	72
3.40 Tools palette .....	73
3.41 Paleta de controles para el panel frontal .....	73



3.42 Paleta de funciones para la creación del diagrama de bloques .....	74
---	----

## **Capítulo 4**

4.1 LayOut Eléctrico.....	77
4.2 Armario de control.....	78
4.3 Panel de conexiones.....	79
4.4 Pantalla principal de MAX .....	83
4.5 Lista de diferentes tipos de medición y Selección de canal .....	84
4.6 Ejemplo de configuración de un canal analógico.....	84
4.7 Ejemplo de cómo leer y escribir en la tarjeta .....	85
4.8 Inicio .....	86
4.9 Configuración de señales. Módulo de Mantenimiento .....	87
4.10 Conexionado con el bloque BNC 2110.....	88
4.11 Configuración.....	90
4.12 Pantalla de ensayo .....	94
4.13 Modo funcionamiento: Local/ Remoto .....	94
4.14 Modo manual .....	95
4.15 Mensaje de confirmación para cambiar el modo de trabajo.....	96
4.16 Selector de las electroválvulas.....	96
4.17 Mensaje de acción .....	96
4.18 Indicador de las entradas analógicas .....	97
4.19 Operación en modo manual .....	97
4.20 Operación de Tarado .....	99
4.21 Generador de ondas .....	100
4.22 Generador de onda.....	101
4.23 Generador de onda cuadrada .....	102
4.24 Generación ideal.....	103
4.25 Generación real .....	104
4.26 Indicador de alarmas.....	104
4.27 Indicador de estado del sistema.....	105
4.28 Visualización de señales.....	106
4.29 Selección de canales para la visualización .....	106
4.30 Ejemplo de carpeta creada con los datos.....	107
4.31 Adquisición de una generación senoidal .....	108
4.32 Ventana de parámetros.....	108
4.33 Visualización de parámetros .....	109
4.34 Project Explorer de Labview 10.....	110
4.35 Ejemplo de sistema portable. ....	120
4.36 Hardware PXI.....	121
4.37 Buses de Temporizado y Disparo. ....	122
4.38 Buses de temporización y disparo PXI Express .....	123
4.39 Controlado PXI.....	124
4.40 Controlador Beckhoff .....	125
4.41 Compact Rio 9074 .....	126
4.42 Implementación con Labview y RIO del hardware de E/S y hardware con DMA en comparación con las implementaciones VHDL. ....	127
4.43 Arquitectura CompactRio .....	129
4.44 Módulos E/S .....	129
4.45 Módulo de extensimetría de cuatro canales Ni 9237 .....	131
4.46 Módulo de entradas analógicas Ni 9205 .....	131
4.47 Módulo de salidas analógicas NI 9264 .....	132
4.48 Módulo de entradas/salidas digitales Ni 9403 .....	132
4.49 Rack de 19" y una altura de 3U.....	133
4.50 Diseño Rack .....	134



4.51 Representación de una FIFO en bloque.....	138
4.52 Representación de funcionamiento de una FIFO .....	139
4.53 Flujo de control de una red con diferentes estaciones.....	141
4.54 Arquitectura TCP/IP .EJ Ethernet.....	142



## INDICE DE TABLAS

### Capítulo 3

3.1 Calibración a compresión.....	51
3.2 Calibración en Tensión .....	52
3.3 Información general .....	62
3.4 Entrada Analógica.....	63
3.5 Salida Analógica .....	63
3.6 E/S Digitales. ....	63
3.7 Contadores/Temporizadores .....	64
3.8 Temporización/Disparo/Sincronización .....	64

### Capítulo 4

4.1 Acciones de control.....	91
4.2 Parámetros del sistema .....	93
4.3 Número de entradas y salidas.....	130
4.4 Comparativa de precios de diferentes controladores.....	130

### Capítulo 5

5.1 Desglose de costes de un producto .....	147
5.2 Coste de personal.....	148
5.3 Coste horario .....	148
5.4 Horas del proyecto trabajadas .....	149
5.5 Coste Armario Eléctrico .....	150
5.6 Coste de elementos hidráulicos .....	151
5.7 Coste de Sensores y Acondicionadores .....	151
5.8 Coste Tarjeta PCI y caja de conexiones.....	152
5.9 Coste Software y ordenador.....	152
5.10 Coste canaletas .....	152
5.11 Coste cable y conector.....	153
5.12 Coste de gestión de compras.....	153
5.13 Otros costes directo .....	154
5.14 Resumen de costes .....	155
5.15 Horas de proyecto trabajadas .....	156
5.16 Coste del Rack y componentes.....	156
5.17 Costes del CompactRio y de los módulos NI para 2 canales .....	157
5.18 Resumen de costes del sistema portable .....	157
5.19 Coste Sistema fijo .....	158
5.20 Coste sistema portable .....	159





# 1 INTRODUCCIÓN



En este proyecto se va a desarrollar de forma detallada el diseño de un excitador servohidráulico para la realización de análisis modal sobre estructuras, para ello vamos a desarrollar una aplicación de Labview que nos permitirá el control de todo el sistema. Particularmente este equipo se usa para excitar un sistema de suspensiones de un automóvil pero, como se cuenta más adelante, se pueden hacer otro tipo de ensayos.

En las últimas dos décadas la técnica de análisis modal se ha convertido en la tecnología más utilizada en la búsqueda de la mejora y la optimización de las características dinámicas de las estructuras en ingeniería.

No sólo se ha reconocido el valor del análisis modal en las ingenierías mecánicas y aeronáuticas. Se han descubierto numerosas aplicaciones en estructuras civiles, problemas biomecánicos, en estructuras espaciales, a la hora del diseño de instrumentos acústicos, transporte e incluso en plantas nucleares.

Para apreciar la contribución del análisis modal en el campo de la ingeniería moderna y su potencial aplicado a la ciencia y la tecnología es necesario recordar los cambios que han ocurrido en la sociedad moderna.

En la actualidad los diseños utilizados en las ingenierías mecánica, aeronáutica o civil se caracterizan por ser ligeros, flexibles y cada vez más resistentes. Por ejemplo, en la industria de la automoción se han utilizado los recursos disponibles para alcanzar reducciones microscópicas en el peso del chasis de un automóvil. Estructuras aeroespaciales tales como las antenas de los satélites están sometidas a continuas reducciones de peso con el objetivo de minimizar el efecto inercial de su peso durante las operaciones espaciales. Estos requerimientos provocan con frecuencia que las nuevas estructuras sean susceptibles a vibraciones indeseadas, siendo necesaria la información proporcionada por el análisis modal para una mejor comprensión del comportamiento dinámico de las estructuras.

Otro hecho importante en la vida moderna es la creciente demanda de seguridad y fiabilidad de las estructuras modernas, bien sea por los reglamentos gubernamentales o por exigencias de los consumidores. Estas exigencias han creado nuevos desafíos para los científicos relativos al comportamiento de las estructuras. En el caso de que la vibración de una estructura sea motivo de preocupación, el reto consiste en alcanzar una mejor comprensión de sus propiedades dinámicas mediante el empleo de técnicas analíticas, numéricas o experimentales, o una combinación de ellas.



Dentro del desarrollo del análisis modal, cabe destacar la importancia que han tenido los ensayos modales. Estos ensayos experimentales han permitido alcanzar modelos modales de gran precisión, proporcionando a los diseñadores información del comportamiento de una estructura bajo diferentes sollicitaciones.

El ensayo modal se define como una técnica experimental empleada para obtener el modelo modal de un sistema vibratorio lineal. La base teórica de esta técnica se fundamenta en el establecimiento de una relación entre la respuesta en forma de vibración de un punto determinado y la excitación en ese mismo punto o en otra localización, como una función de frecuencia de excitación. Esta relación, que es con frecuencia una función matemática compleja, se conoce como función de respuesta de frecuencia ó FRF.

Para obtener la función de respuesta de frecuencia de un sistema completo se debe realizar el mismo proceso de excitación y obtención de respuesta en diferentes localizaciones con el objetivo de adquirir información del comportamiento de diversos puntos de la estructura. Con dicha información se consigue la función de respuesta de frecuencia del sistema en forma matricial.

En lo relativo a las pautas de excitación, para medir una FRF tan sólo sería necesario disponer de una fuente de excitación conocida localizada en un punto de la estructura y la medida de la respuesta en forma de vibración de varios puntos. Sin embargo las técnicas modernas de excitación y el desarrollo de la teoría del análisis modal permiten utilizar mecanismos de excitación más complicados. Por ejemplo la excitación puede ser una banda de frecuencia seleccionada, o un rango amplio de frecuencias determinado al azar ó incluso ruido blanco.

Por lo general, la excitación de una estructura se mide mediante un transductor de fuerza en el punto dónde se aplica dicha excitación, mientras que para medir la respuesta de la estructura se utilizan acelerómetros u otros tipos de sondas. Por último ambas señales, excitación y respuesta, se analizan para calcular la FRF.

En resumen, los análisis modales experimentales consisten en tres fases: preparación de la estructura, medida de las respuestas de frecuencia e identificación de los parámetros modales. Con ello se construirá un modelo modal capaz de predecir la respuesta de la estructura al someterla a distintas excitaciones.

Por lo expuesto anteriormente, se ha reconocido la importancia del conocimiento del comportamiento dinámico de las estructuras, logrando un considerable aumento de los diseños de estructuras en los que se tienen en consideración la dinámica.

En los últimos años se han publicado numerosos artículos sobre las aplicaciones del análisis modal en las áreas de la ingeniería, ciencia y tecnología. A pesar de que la mayor parte de la literatura trata temas relacionados con la ingeniería aeronáutica, la automoción o casos particulares



de la ingeniería, no se debe olvidar el creciente aumento de las aplicaciones del análisis modal en campos interdisciplinarios.

En lo relativo a la ingeniería del automóvil los aspectos comerciales y de seguridad asociados al diseño de un vehículo obligan a tener un mayor conocimiento de las propiedades dinámicas de las estructuras de los automóviles y en particular las repercusiones que conlleva cada cambio en el diseño. Para ello se ha centrado un gran interés en la combinación del análisis modal experimental y el análisis por elementos finitos.

Mediante esta técnica los diseñadores crean mejores componentes y adquieren un mayor conocimiento de las propiedades dinámicas de los automóviles, satisfaciendo de este modo la demanda de automóviles ligeros de peso y de alta resistencia.

Igualmente el análisis modal experimental es muy utilizado en el estudio del ruido y de las vibraciones que aparecen en el vehículo, en la estimación de la vida en fatiga de un vehículo o en el estudio de sistemas de suspensión sometido a un estado de ciclos de carga.

El rápido desarrollo de las industrias aeronáuticas y astronáuticas ha desafiado a muchas disciplinas de la ingeniería con diversos retos tecnológicos. Prueba de ello es que las estructuras dinámicas de las aeronaves y de las naves espaciales han sido un importante catalizador del desarrollo del análisis modal.

Las estructuras de las aeronaves y de los vehículos espaciales están sujetas a estrictos requisitos de integridad estructural y de comportamiento dinámico, y son producto de los rigurosos esfuerzos en la reducción de peso. La gran dimensión de las estructuras de las naves espaciales es igualmente un estímulo para los diseñadores, en busca continua de los modelos matemáticos más ajustados.

El análisis modal experimental ha proporcionado un medio indispensable para la verificación de los modelos matemáticos obtenidos a partir de la modelización por ordenador.

Los ensayos modales se han llevado a cabo en una amplia variedad de estructuras que van desde una pequeña selección de aeronaves, un satélite a un vehículo aéreo no tripulado. La razón de esta llamativa selección de estructuras radica en que se debían escoger aquellas que los modelos por ordenador no fueran capaces de tratar debido a que se trabajaba con variables como el amortiguamiento o la no linealidad.

Tan importantes fueron los ensayos experimentales realizados en la industria aeronáutica que la mayoría de las publicaciones realizadas durante los años ochenta sobre la actualización de modelos de elementos finitos se basaron en las investigaciones realizadas en dicha industria.

El análisis modal también ha encontrado una creciente aceptación en la comunidad de ingenieros civiles, donde el análisis estructural ha sido siempre



un área crítica al tener que enfrentarse a problemas como las cargas sísmicas o el viento.

Las estructuras civiles suelen ser mucho mayores que las estructuras mecánicas ó aeronáuticas para las que se desarrolló la técnica de análisis modal originariamente, y en la mayoría de los casos se requiere alguna aplicación capaz de predecir la respuesta de la construcción civil frente a vibraciones provocadas por algún agente ambiental o a cargas externas. Esta predicción del comportamiento de una estructura se obtiene de un modelo matemático derivado del análisis modal.

Ejemplos de fuerzas reales a las que se tienen que enfrentar las construcciones civiles son los terremotos, el viento, vibraciones, el tráfico, etc.

En los últimos años se ha producido un aumento de los ensayos modales en puentes para completar las revisiones tradicionales consistentes en una inspección visual y en un ensayo estático. El análisis modal se utiliza como herramienta para localizar rápidamente defectos críticos mediante ensayos no destructivos proporcionando una información muy valiosa para las tareas de mantenimiento y para la determinación del presupuesto del puente.



Motivado por adquirir cualidades, conocimientos y habilidades profesionales el proyecto de fin de carrera lo he realizado en una empresa externa en calidad de Becario, Aries **Ingeniería**. Es una empresa española de ingeniería, independiente, con más de veinte años de experiencia y clientes en todo el mundo orientada a los mercados de Espacio y Defensa, Automoción, Transporte y Ferrocarril, Industrial, Energía y Química. La actividad fundamental de la compañía es la prestación de servicios avanzados de ingeniería de sistemas y ensayos.

En estas y otras áreas, Aries ofrece un servicio integral desde la concepción del proyecto hasta su puesta en marcha y el apoyo logístico desde el inicio del propio proyecto hasta la finalización del mismo.

- La división de sistemas de ensayo, está formada por un equipo de ingeniería que, a partir de sus diseños e integración de sistemas complejos, ha sabido desarrollar a lo largo de su historia una tecnología propia y un valor añadido de aplicación directa a las necesidades de ensayo de nuestros clientes en todo el mundo, especialmente del sector del Transporte y la Industria.

Como “know-how” propio podemos destacar, entre otras, las siguientes capacidades:

- **Diseño electro-mecánico avanzado**
- **Hidráulica y servosistemas**
- **Desarrollo de software y sistemas de control avanzado en tiempo real**
- **Generación, control y análisis de vibraciones**
- **Medición y ensayos acústicos**
- **Diseños de obra civil compleja asociada a laboratorios de ensayo**

- Desde hace más de veinte años trabaja en los sectores de Transporte e Industria, proporcionando soluciones a medida en los ámbitos de ensayo, medición y monitorización de parámetros específicos.

- La división de Espacio y Defensa, está especializada en proyectos "llave en mano" en áreas tecnológicas: sistemas UAV, balística, acústica submarina, sistemas de ensayos, etc.

- Aries Ingeniería es un suministrador certificado de la DGAM y está incluida en el Registro Especial de Exportadores de Material de Defensa y Doble uso. Además, es miembro permanente de la Asociación de Fabricantes de Material de Defensa AFARMADE, así como de otras asociaciones internacionales de interés.

- La división Química ofrece un amplio y completo rango de servicios en el campo de la ingeniería y construcción de plantas de procesos con fuerte



contenido tecnológico, que abarcan desde ingeniería básica hasta proyectos completos llave en mano.





## 2 OBJETIVOS



El objetivo de este proyecto es la creación de un sistema de excitación controlada para realización de estudios de análisis modal experimental sobre estructuras, en particular se va a utilizar en ensayos, en los que se someterá a un sistema de suspensión de un automóvil a un estado de ciclos de carga. Para ello se utiliza un cilindro hidráulico controlado, que es capaz de introducir cargas conocidas (medidas mediante célula de carga) sobre la estructura, al tiempo que se registra, de forma simultánea, la respuesta de la misma.

En este documento voy a dar una visión global del sistema completo incidiendo y desarrollando en detalle las partes en las que he participado o desarrollado exclusivamente.

Para este fin se ha creado una aplicación Software en Labview para ejercer el control sobre el cilindro así como el diseño eléctrico correspondiente.

Se van a tratar dos tipos de soluciones, una solución que por sus dimensiones será fija y otra portable.

En el sistema fijo además de crear y desarrollar la aplicación de control en Labview de forma exclusiva, he participado de forma activa en el diseño eléctrico.

Y en el sistema portable no solo me he encargado del desarrollo software si no también del diseño del equipo, sin embargo este prototipo está a la espera de fabricación.

El *Sistema fijo* se ha desarrollado en todas sus facetas y basándonos en este sistema, se hacen las modificaciones necesarias para adaptarlo a un sistema portable. La idea es poder adecuar el software creado para el control servohidráulico en los dos sistemas.

1. *Sistema fijo*: Se ha implementado el software para ensayos de excitación, sometiendo a un sistema de suspensión a un estado de ciclos de carga. Para ello se hace uso de una tarjeta PCI de National Instrument de adquisición de datos en tiempo real que se encarga de procesar la señal de forma automática y de generar los perfiles para la excitación de la estructura.

Como alternativa el sistema puede ser excitado de forma remota por el Abacus, un controlador externo de Data Physics, en cuyo caso se encargaría de generar los perfiles de excitación.

Esta aplicación permite dar órdenes de movimientos al cilindro, visualización y monitorización de las señales de desplazamiento y fuerza, control de los estados del sistema, gestión en situaciones de emergencia y generación de perfiles requeridos para la excitación (onda senoidal, cuadrada, triangular y diente de sierra).

El sistema es controlado por dos lazos de control concatenados, un lazo externo y un lazo interno, siendo posible el control con el lazo interno únicamente.



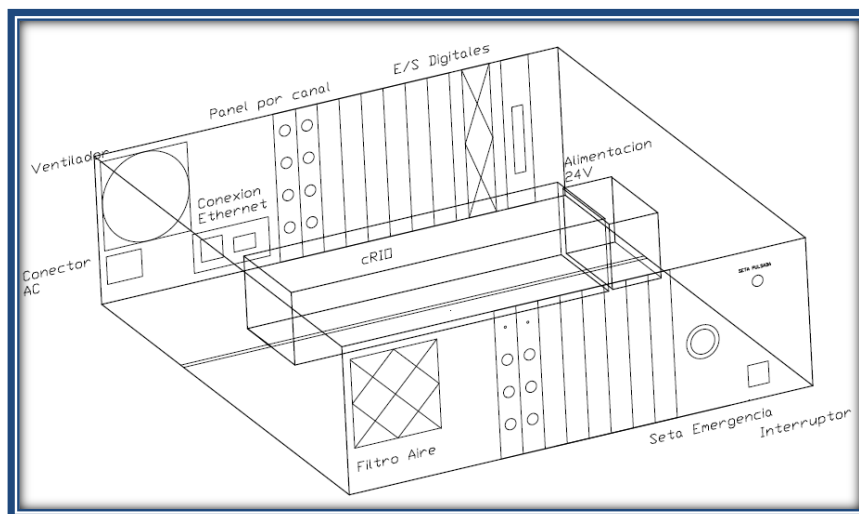


2.1 Foto de la instalación

2. *Sistema portable* :Se quiere desarrollar un prototipo en el que se pueda implementar el Software del sistema anterior para el control de hasta 4 cilindros por lo que debemos hacer uso de un controlador Compact Rio también de National Instrument que garantice generación, adquisición y control en lazo cerrado, por lo que habrá que hacer las modificaciones necesarias en el software debido a que este controlador es de tiempo real con FPGA, siendo programación bastante diferente a cuando se utiliza una tarjeta PCI sin inteligencia.

Este controlador debe estar integrado en un equipo de pequeñas dimensiones para que sea fácilmente portable.

La imagen 2.2 ilustra el diseño del sistema portable con todos sus elementos, que como se ha comentado esta a la espera de fabricación.



2.2 Controlador Portable

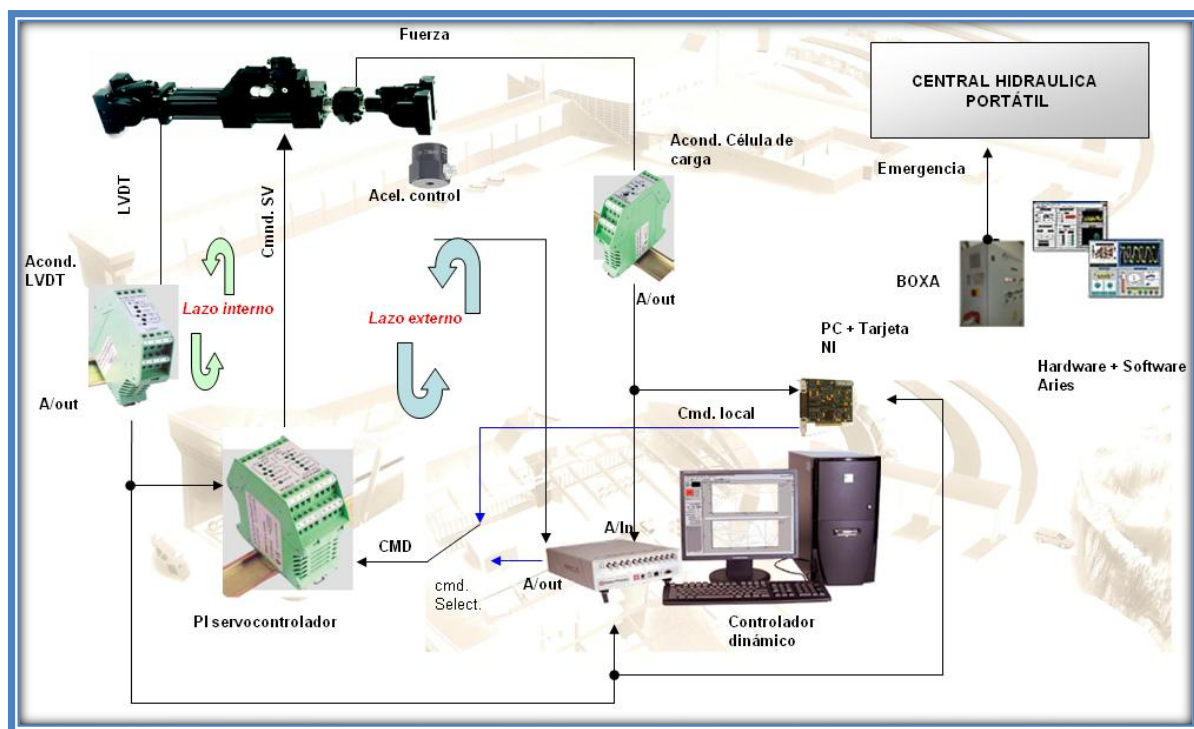




# 3 EQUIPO DE CONTROL

## Arquitectura

La arquitectura del sistema propuesto para el sistema fijo se basa en dos lazos de control, un lazo interno con control por desplazamiento, para ello se hace uso de un servocontrolador PI y un lazo externo con control por aceleración, en este caso el lazo se implementa en el Abacus, un controlador de Data Physics que además ofrece altas prestaciones en el análisis de datos en tiempo real. Un transductor de desplazamiento (LVDT) integrado en el interior del cilindro, una célula de carga y un acelerómetro, este ultimo como se detalla más adelante esta únicamente conectado a un controlador de Data Physics (Abacus). Y por último una tarjeta de adquisición PCI de datos de National Instruments integrada en el PC.



**3.1 Arquitectura del sistema**

De aquí en adelante se va a detallar los elementos que forman parte de la arquitectura del sistema.

### 3.1 LAZOS DE CONTROL

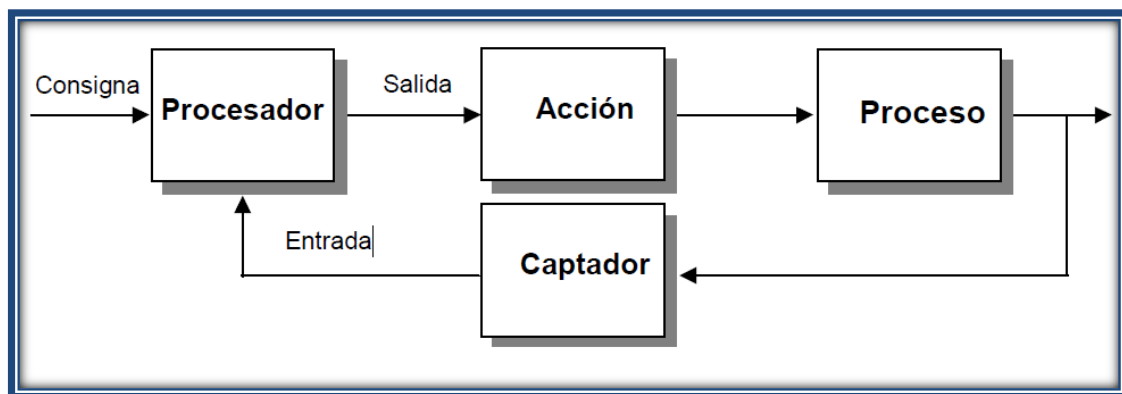
El sistema se puede controlar bien por lazo interno, control por desplazamiento, en este caso la generación de señales de consigna (drive) al actuador es llevado a cabo por la tarjeta PCI, o bien por concatenación de un lazo externo y un lazo interno, en cuyo caso el control de lazo externo se lleva a cabo por el Abacus en el que se controla por aceleración. Siendo en este último caso la salida del lazo externo la referencia del lazo interno.

## Control en lazo cerrado

El control de procesos tiene como objetivo principal, mantener las variables del proceso lo más cercanas posible a sus puntos de consigna o setpoint. Con este fin, se busca una reacción rápida del controlador, ante perturbaciones del proceso o cambios del punto de consigna.

También se busca el equilibrio entre la velocidad y la estabilidad de la respuesta. Si se aumenta la velocidad de respuesta, generalmente disminuye la estabilidad de la misma, y viceversa. Principalmente se busca una operación estable y, dentro de la estabilidad, la mayor velocidad posible.

Realizar un control adecuado nos va a permitir aumentar la seguridad de los equipos y cumplir con las especificaciones.



**3.2 Sistema de control**

El controlador permite:

- Comparar la variable medida con la de referencia o deseada para determinar el error.
- Estabilizar el funcionamiento dinámico del lazo de control mediante circuitos especiales para reducir o eliminar el error.
- Cumplimiento de las especificaciones.
- Seguridad de equipo y personas

En este sistema usaremos un servocontrolador P-I de Moog

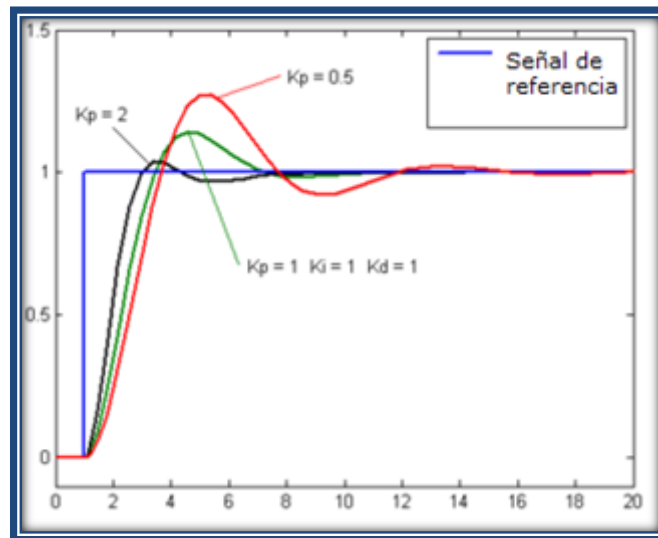
El termino P (proporcional) está relacionado con una acción proporcional al error y tiene un efecto inmediato en la respuesta, al aumentar este término, el sistema se vuelve más 'vivo', si nos pasamos con la ganancia el sistema oscilará (demasiado 'vivo'). Una analogía mecánica sería la constante 'K' de un muelle, cuanto más fuerte sea el muelle (K más alta), más brusca será su respuesta. A su vez, cuanto mayor sea el 'error' (cuanto más lejos esté de su posición de reposo) mayor será la fuerza que hará el muelle.

Todos hemos tenido la experiencia con un muelle, de que para posiciones muy cercanas a suposición de reposo el muelle ‘no recupera’, esto se debe a que la fuerza es proporcional a la elongación del muelle y, podría darse el caso de que para posiciones muy cercanas a la de reposo no fuera suficiente para vencer el rozamiento que por ejemplo pueda tener la carga.

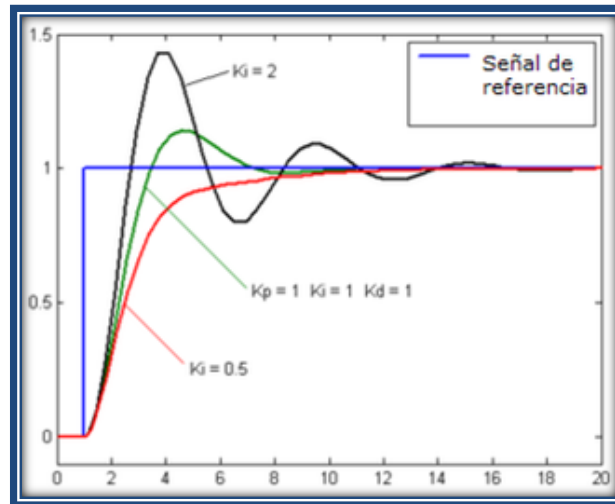
Esta es una característica común a todos los controles proporcionales, acostumbran a estabilizarse ‘cerca’ de la posición comandada pero tienen un pequeño error residual que no consiguen recuperar ya que al hacerse pequeño el erro, el efecto de la constante de proporcionalidad  $K_p$ , es despreciable.

El termino I (integral), es una constante proporcional al error acumulado, y tiene como objetivo eliminar el error residual de un control proporcional. Un control P+I (proporcional +Integral) teóricamente logrará el objetivo de que el error sea nulo, el problema en ocasiones el efecto integral es demasiado lento.

Para aumentar el ritmo de ‘corrección’ del error es posible añadir un término proporcional a la variación del error (D), de este modo tenemos un control PID. El efecto ‘Derivativo’ intenta anticiparse al error, operando en función de su derivada temporal. Complementando los algoritmos PI+D (que se basan en un valor de realimentación).



**3.3 Proporcional**

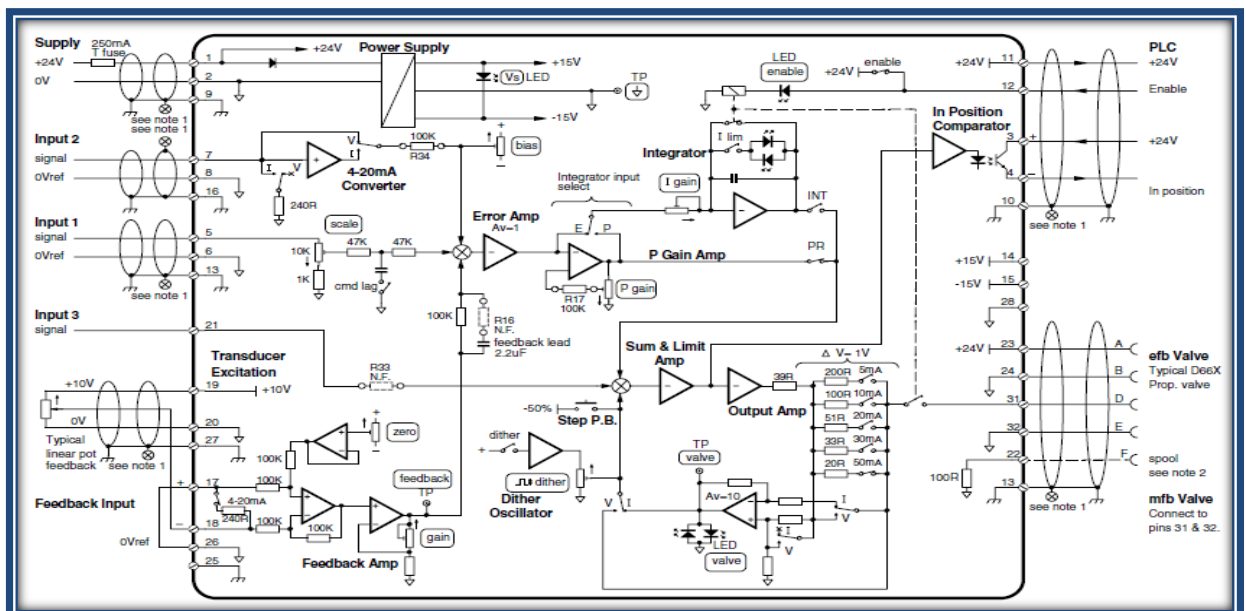


3.4 Integral

### - Control de lazo interno

Es el lazo que controla el movimiento del actuador, haciendo que se cumpla el seguimiento de la señal de consigan que recibe de la tarjeta PCI.

El controlador está integrado en el armario eléctrico y se ha seleccionado un controlador P-I analógico de MOOG



3.5 Esquema eléctrico del controlador



### ***Ajuste de los parámetros***

El afinado consiste en ajustar los valores de los siguientes parámetros de control:

- P Ganancia Proporcional
- I Ganancia Integral
- D Ganancia Derivativa

El afinado afecta a la respuesta y la estabilidad del bucle de control y dependerá del espécimen a ensayar. Un afinado óptimo no es imprescindible, pero mejora las prestaciones del sistema.

Cuando tenemos un cambio de un actuador o un elemento integrante en el bucle de control o disminución de la precisión en el control tendremos que volver ajustar los valores de control.

A continuación se detalla una descripción general de los parámetros de ajuste, aplicación y procedimiento general.

#### *- Ganancia Proporcional*

La ganancia proporcional es usada para todas las situaciones de afinado, aumenta la respuesta del sistema multiplicando el efecto del error en la señal de la válvula proporcional.

El control proporcional se describe en la siguiente ecuación:

$$C(t) = P * e(t)$$

donde:

- $C(t)$  es el comando a la válvula proporcional.
- $P$  es la ganancia proporcional.
- $e(t)$  es el error (Calculado como diferencia entre la referencia y la variable de proceso o medida del sensor).

Cuanto mayor es la ganancia del control proporcional mayor es la señal de control generada para un mismo valor de señal de error. Desde otro punto de vista se puede decir que para una señal de control determinada, cuanto mayor es la ganancia del control proporcional, menor es la señal de error actuante y más rápido es el sistema. Por lo que un aumento de la ganancia de control proporcional permite reducir el error en estado estacionario hasta un cierto límite. Pero teniendo en cuenta que hace al sistema más sensible a perturbaciones y menos estable, por lo que generalmente un aumento de la ganancia de control proporcional lleva a un empeoramiento de la respuesta transitoria en lazo cerrado. Por lo que si aumentamos demasiado la  $P$ , el sistema se puede hacer inestable y si es demasiado baja conlleva que la respuesta del sistema sea lenta.



- *Ganancia Integral*

La ganancia Integral, aumenta la respuesta del sistema. Puede compensar un error constante, tal como el causado por el desequilibrio de válvula proporcional.

La ganancia proporcional se describe con la siguiente ecuación:

$$C(t) = P * e(t) + I * \int e(t) dt$$

donde:

- $C(t)$  es el comando a la válvula proporcional.
- $P$  es la ganancia proporcional.
- $e(t)$  el error (Calculado como diferencia entre la referencia y la variable de proceso)
- $I$  es la ganancia integral.

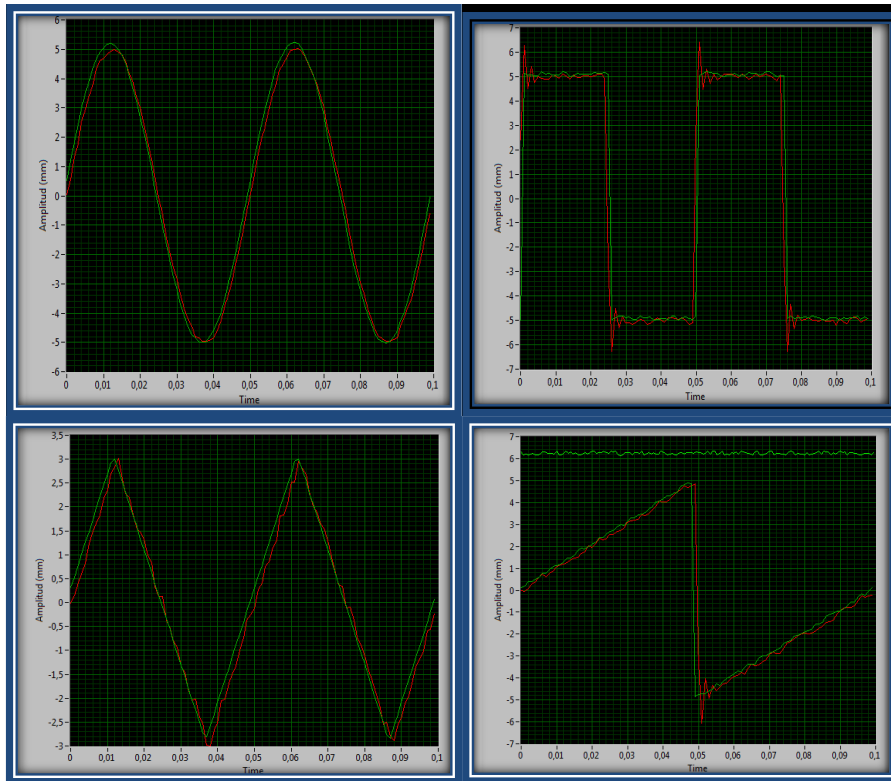
Consideraciones al afinar  $I$ :

Se ajustara la ganancia  $I$  después de haber ajustado  $P$ , esta ganancia mejora el valor medio cuando se opera dinámicamente y corrige la caída de la realimentación.

Minimiza el tiempo que el sistema necesita para recuperarse de transitorios y asegura un error nulo en régimen transitorio. A mayores  $I$  se aumenta la respuesta del sistema pero teniendo en cuenta que si es muy elevada se pueden provocar oscilaciones o incluso la inestabilidad del sistema aun sin cambiar  $P$ .

Un ejemplo del resultado obtenido se puede ver en la figura 3.6.

El proceso de obtención de los 2 parámetros de los que consta el P-I se ha realizado de forma experimental. Cerrando el lazo, se probaron valores aleatorios de cada uno de los parámetros, modificando primero el parámetro proporcional y posteriormente el parámetro integral hasta llegar a unos resultados en los que el sistema se comportaba según las premisas impuestas en términos de dinámica y régimen permanente.



### 3.6 Generación de ondas

#### - Control de lazo externo

Es el lazo que controla la respuesta en aceleración, haciendo que la referencia de movimiento impuesta a la misma se la demandada. Para ello es capaz de generar señales de consigna (drive) que serán señales de referencia en el lazo interno, mejorando así la estabilidad del sistema. Para este lazo, la solución incluye el controlador Abacus. Además de la función del control de lazo externo, el controlador Abacus ofrece altas prestaciones en el análisis de datos en tiempo real.

Este controlador es un sistema modular y ampliable, ofreciendo capacidades completas de control de vibración con características de análisis de gran alcance como es el análisis modal experimental capaz de gestionar los datos registrados en cada nodo del modelo y calcular las FRF (funciones de respuesta espectral) así como los modos propios (frecuencias propias, formas modales y amortiguamientos).

La interfaz gráfica de SignalStar (Software de control) proporciona un control avanzado y funciones de análisis para cumplir con los requisitos más exigentes.



3.7 Abacus

### *Especificaciones técnicas*

- 4 a 32 canales de entrada
- 120 a 150 dB de rango dinámico
- Control de vibraciones y análisis avanzados

SignalStar Vector es un controlador de vibración que se ejecuta en ABACUS. Proporciona modos de pruebas de vibración: Random, Seno, búsqueda de resonancia y permanencia, choque clásico, transitorio, etc

El Control en bucle cerrado de vibración requiere una gran cantidad de cálculos en tiempo real. Ofrece frecuencias de muestreo de hasta 107 kHz para una reproducción precisa de vibración de alta frecuencia y la grabación simultánea de datos en tiempo real.

### **3.1.2 Transductores**

Es el instrumento o dispositivo capaz de transformar la energía disponible en una magnitud física dada en otra magnitud, física que el sistema pueda aprovechar para realizar su objetivo de medición y control.

Se usan por ejemplo para pasar de magnitudes acondicionadas en presión a corriente o tensión y modernamente a variables digitales para buses de campo. También se podría llamar Transductor al conjunto Sensor Transmisor, pues toma la magnitud del proceso y la traduce a una variable normalizada para el sistema de control.

Tengamos en cuenta que el acondicionamiento linealiza, compensa las derivas por temperatura tanto de sensibilidad como de cero etc.

-*Sensor*: La palabra se usa por extensión toda una serie de aparatos y dispositivos. Sin embargo entrando más en detalle se puede decir que el sensor en sí es el elemento primario de medición.

Para el caso de una medición de caudal por ejemplo lo puede ser una tobera, turbina, etc.

Como se ve, el elemento primario o Sensor toma una cierta magnitud que saca del proceso y en consecuencia de ella nos da otra magnitud física que



podremos aprovechar para obtener la información que queremos que en definitiva es la medición.

-*Transmisor*: Se conoce como transmisor en el campo de la instrumentación y control al conjunto acondicionador de señal, en casos integrado al sensor y en otros como un dispositivo independiente conectado al sensor mediante conductores eléctricos, caños etc

*Parámetros a tener en cuenta en la elección del transductor*

***Rango:***

Es el conjunto de valores comprendidos entre los límites ( Superior e Inferior) que es capaz de medir el instrumento al que nos referimos, dentro de los límites de exactitud que se indican para el mismo. Se indica por los valores Superior e Inferior, antes mencionados.

***Resolución:***

Es el menor cambio en la variable del proceso capaz de producir una salida perceptible en el instrumento. Se expresa en general como un porcentaje del Límite Superior de medición del instrumento (valor a fondo de escala del mismo).

***Error:***

Se lo define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero.

El error tiene en general variadas causas.

Las que se pueden de alguna manera prever, calcular, eliminar mediante calibraciones y compensaciones, se denominan determinísticos o Sistemáticos.

Los que no se puede prever, pues dependen de causas desconocidas, o estocásticas se denominan aleatorios.

***Exactitud:***

Capacidad de un instrumento de dar valores de error pequeños.

Si un instrumento está calibrado correctamente los errores aleatorios inevitables harán que los resultados de la medición tengan una cierta dispersión, si el promedio de las mediciones coincide con el valor verdadero el instrumento es exacto.

La estadística (media en este caso) nos podrá acercar al valor verdadero.

La exactitud se puede especificar en porcentaje del valor medido o bien en porcentaje del valor a fondo de escala del instrumento.

En el caso de los instrumentos destinados a procesos industriales en general esa exactitud especificada corresponde a todo el rango de medición del mismo

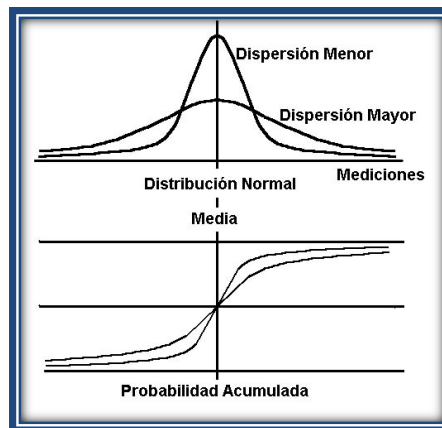
### **Precisión:**

Cuanto mayor es la precisión menor es la dispersión de los valores de la medición alrededor del valor medido.

Podría suceder que ese valor no fuese exacto pero la dispersión ser pequeña, en ese caso el instrumento es preciso pero no exacto.

La precisión está asociada a estadísticas como la varianza y el desvío estándar.

En la técnica se suele exigir que los valores de variables importantes para la calidad del producto se mantengan dentro de un campo dado por tres desvíos estándar en mas o en menos del valor especificado, y estos desvíos deben ser pequeños para tener buena precisión.



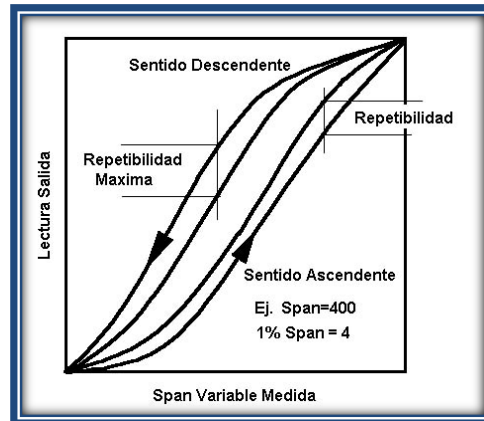
### **3.8 Precisión**

### **Repetitividad:**

Capacidad de un instrumento de repetir la salida cuando se llega a la medición en sucesivas ocasiones bajo exactamente las mismas condiciones.

Un detalle muy importante de esto es que se debe exigir que la medición se debe realizar con la variable en sentido creciente o decreciente pero no en ambos sentidos, pues en ese caso deja de ser Repetibilidad para ser HISTÉRESIS.

Como otros parámetros de especificación de los instrumentos se acostumbra a especificar la repetitividad como un valor porcentual de la medición o bien del fondo de escala del instrumento.



3.9 Repetitividad

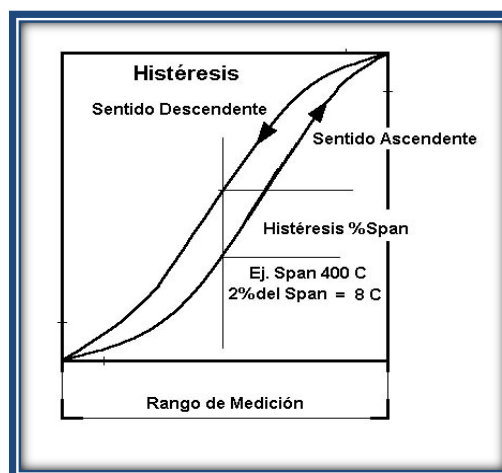
### **Histéresis:**

El amortiguamiento mas el rozamientos hace que haya un consumo de energía en la carga y descarga de los instrumentos.

Es debido a eso que la curva de calibración ascendente no coincide con la descendente y eso es llamado Histéresis

Baja Histéresis es la capacidad de un instrumento de repetir la salida cuando se llega a la medición en ocasiones consecutivas bajo las mismas condiciones generales pero una vez con la medición de la variable en un sentido (por ejemplo creciente) y en la siguiente con la variable en sentido contrario (por ejemplo decreciente).

Como otros parámetros de especificación de los instrumentos se acostumbra a especificar la histéresis como un valor porcentual de la medición o bien del fondo de escala del instrumento.



3.10 Histéresis

**Calibración:**

Una calibración del instrumento es un conjunto de valores de la relación entre la variable de entrada (del proceso) y la variable de salida (medición), donde se mantienen las restantes condiciones constantes.

Como vemos habrá infinitas calibraciones si variamos las condiciones en las que se levanta la curva de calibración.

Se trata de alguna forma de obtener expresiones que relacionen las variables externas que influyen en la obtención de la medición a fin de corregir la calibración en condiciones estándar.

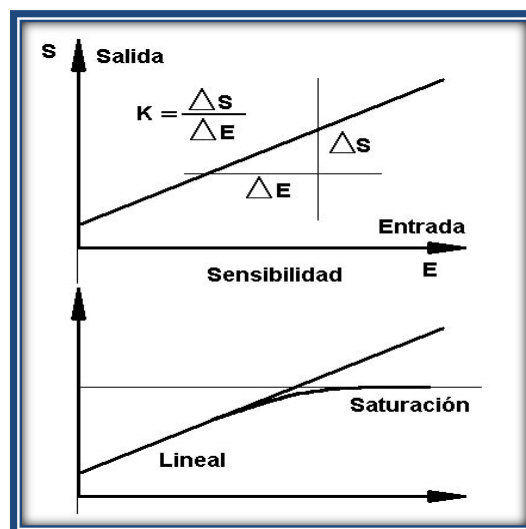
Un ejemplo típico es la temperatura como variable que hace derivar las mediciones de otros parámetros en control de procesos.

Con el avance de la era digital, se pueden almacenar varias calibraciones y dar la medición a través de rutinas de interpolación entre las mismas.

**Sensibilidad:**

Es la variación en la salida del instrumento por unidad de variación de la variable del proceso (entrada), en definitiva se puede decir que es la ganancia del instrumento.

El ideal es que la misma se mantenga constante. En general los elementos primarios presentan derivas de la sensibilidad con otras variables, fundamentalmente la temperatura, por lo que el acondicionamiento de señal que realiza el instrumento se debe encargar de compensar esas derivas. En muchos instrumentos industriales se mide también a la temperatura para realizar esta compensación.



3.11 Sensibilidad

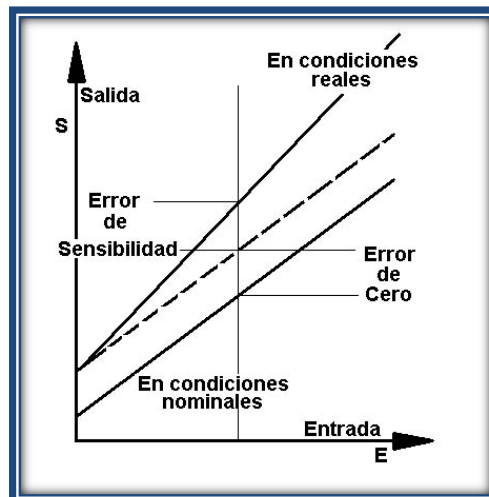
### **Error de sensibilidad:**

Como venimos mencionando la temperatura en general produce una deriva o variación de la sensibilidad del elemento primario. En gran medida esta deriva es compensada por el sistema electrónico de acondicionamiento de señales del instrumento.

Los distintos primarios tienen una salida variable según la temperatura. En general esta característica se especifica mediante los denominados coeficientes de temperatura. Cuando se profundiza estos coeficientes, en lugar de ser constantes, pueden ser polinomios función de la temperatura de diversos grados.

### **Error de cero:**

Aun cuando el valor de la variable del proceso esté en el mínimo del rango, donde la salida del instrumento debe ser el valor asociado al cero del rango (en corriente por ejemplo 4mA), el instrumento marca a su salida un valor distinto de cero.



3.12 Error de Cero

Ese valor es el error de cero. En general existen en los instrumentos sistemas para anular, o compensar el error de cero, estos sistemas pueden ser ajustes mediante movimientos en el instrumento o bien por software.

### **Linealidad:**

En control clásico la linealidad se toma como un requisito puesto que toda la teoría se basa en ese tipo de dinámica de sistemas (ecuaciones diferenciales lineales).

Si bien esto ha sido superado la falta de la linealidad siempre representa complicaciones por lo que: la linealidad de los instrumentos de medición y control siempre es una característica buscada.

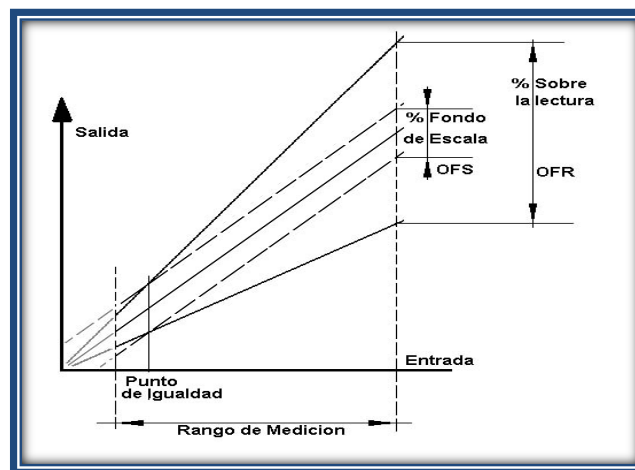
Si el proceso es lento respecto de la dinámica del instrumento se puede pensar que el mismo se establece en el valor de la medición a una velocidad mucho mayor que los cambios que puede efectuar la variable medida.



En estas condiciones se puede considerar que el instrumento tiene una alinealidad estática es decir no tengo en cuenta su dinámica.

Así puedo tener una curva de calibración levantada en condiciones estáticas y usarla para compensar las alinealidades del instrumento.

En la práctica las compensaciones del sistema de acondicionamiento de señales llega a eliminar en gran medida los errores por alinealidad, pero en una cierta persisten, y se suelen expresar en valor porcentual de la máxima desviación respecto de la salida lineal en todo el rango del instrumento respecto del valor del fondo de escala del mismo



### 3.13 Linealidad

#### 3.1.2.1 Transductor de desplazamiento

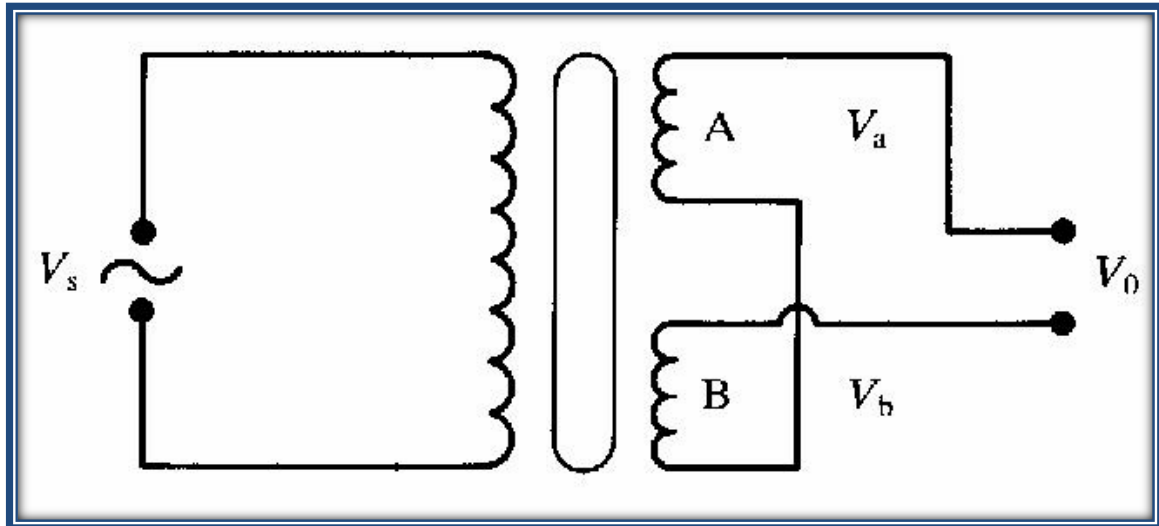
Los transductores de desplazamiento lineal miden el movimiento de un cuerpo a lo largo de una trayectoria rectilínea. Además de su empleo como elementos primarios, son usados con frecuencia como componentes secundarios en sistemas de medición, donde un cambio en otra magnitud física como la presión, fuerza, aceleración o la temperatura, es traducido a un cambio de resistencia y, a su vez, este cambio traduce un desplazamiento lineal.

En este proyecto se ha utilizado un transformador línea variable diferencial (LVDT). Por su principio de funcionamiento inductivo, el desplazamiento se obtiene gracias al movimiento del núcleo dentro del cuerpo del sensor, el cual modifica la amplitud de la señal inducida entre el bobinado primario y el secundario, el rozamiento es nulo, con lo que el LVDT permite realizar millones de operaciones sin sufrir desgaste.

Es el más conocido de los transductores de desplazamiento inductivos de reluctancia variable. Esta familia de transductores convierte el desplazamiento en un cambio de tensión alterna, gracias a la alteración de las líneas de campo

magnético entre dos o más arrollamientos, originadas por una tensión alterna aplicada a uno de los devanados.

El LVDT consta de un transformador con un arrollamiento primario, y dos secundarios conectados en oposición-serie, como muestra la figura, donde la doble flecha indica el sentido del movimiento del núcleo ferromagnético.



3.14 LVDT

Para una tensión de excitación dada por:

$$V_s = V_m \times \sin(\omega t)$$

La fuerza electromotriz inducida en los arrollamientos secundarios viene dada por:

$$V_a = K_a \times \sin(\omega t - f) \quad V_b = K_b \times \sin(\omega t - f) .$$

Las amplitudes de estas señales dependen del acoplamiento entre cada secundario y el primario y, por consiguiente, dependen de la posición del núcleo de hierro. Con el núcleo en la posición central las tensiones en los dos secundarios son iguales en magnitud y opuestas en signo, proporcionando el transductor salida nula. En una posición genérica, la salida viene dada por ( $K_a=K_1$  y  $K_b=K_2$ )

$$V_o = V_a - V_b = (K_a - K_b) \times \sin(\omega t - f) = (K_1 - K_2) \times \sin(\omega t - f)$$

Para desplazamientos simétricos en torno a la posición de equilibrio, la salida es de igual magnitud a uno y otro lado, y sólo cambia su signo. En efecto, por encima del cero se tiene una salida semejante a la dada por la ecuación anterior; por debajo de cero, las amplitudes toman los valores contrarios, y se verifica

$$V_o = (K_2 - K_1) \times \sin(\omega t - f) = -(K_2 - K_1) \times \sin(\omega t - f + p) = (K_1 - K_2) \times \sin(\omega t - f + p)$$

En consecuencia, para desplazamientos simétricos, la única información sobre el sentido del movimiento del núcleo se obtiene a partir del desfase de la tensión de salida respecto de la de entrada.



A una frecuencia dada, la tensión de salida es proporcional a la diferencia de acoplamiento mutuo entre el primario y cada uno de los secundarios. Como el acoplamiento es proporcional a la posición del vástago, también lo será la tensión de salida.

La salida se entrega en forma de tensión alterna modulada en amplitud; siendo el parámetro modulador el acoplamiento mutuo entre devanados.

Según las expresiones anteriores, se observa también que hay un desfase entre la tensión aplicada al primario,  $V_s$ , y la salida diferencial en los secundarios,

$V_o = V_a - V_b = (K_1 - K_2) \times \sin(\omega t - f)$ . El desfase depende de la frecuencia de alimentación y se demuestra que es nulo a la frecuencia  $f_n$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{L_1 L_2}}$$

En esta expresión los valores de las resistencias y de las inductancias corresponden a los dos arrollamientos secundarios.

Se demuestra también que para frecuencias mayores a la de desfase nulo, la sensibilidad decrece. Por lo que  $f_n$  es considerada un límite operativo del transductor.



Se ha elegido un LVDT por las siguientes razones:

- *Operación libre de fricción*

En uso normal, no hay contacto mecánico entre el núcleo del LVDT y el bobinado, no hay roce, arrastre u otra fuente de fricción.

- *Resolución “infinita”*

Puesto que los LVDTs operan sobre principios de acoplamiento electromagnético en una estructura libre de fricción, miden cambios infinitamente pequeños en la posición del núcleo. Esta capacidad de resolución infinita es limitada solamente por el acondicionador de señal LVDT y por el display de salida.

- *Vida mecánica “ilimitada”*
- *Sensibilidad de eje simple*

El LVDT responde al movimiento del núcleo a lo largo del eje del bobinado, pero es generalmente insensible al movimiento en el eje transversal del núcleo o a su posición radial. Por ello, un LVDT generalmente puede funcionar sin efectos adversos en aplicaciones que implican movimientos no alineados o flotantes, y en casos donde el núcleo no se mueve exactamente en línea recta.

- *Estabilidad del Punto Nulo*

La ubicación del punto nulo en los LVDTs es sumamente estable y constante, parejo sobre una amplia gama de temperatura de funcionamiento. Esto hace que un LVDT se desempeñe bien como un sensor de posición nula en sistemas de control de lazo cerrado y en instrumentos servo balanceados de alto rendimiento.

- *Rápida Respuesta Dinámica*

La ausencia de fricción durante la operación normal permite que un LVDT responda muy rápido a los cambios de posición del núcleo. La respuesta dinámica de un sensor LVDT esta autolimitada solamente por los efectos inerciales de la masa delgada de núcleo. Más frecuentemente, la respuesta de un sistema de sensado LVDT es determinada por las características del acondicionador de señal.

- *Salida Absoluta*

Un LVDT es un dispositivo de salida absoluta, a diferencia de un dispositivo de salida incremental. Esto significa que en caso de pérdida de alimentación, los datos de posición que son enviados desde el LVDT no se perderán. Cuando el sistema de medición es reiniciado, el valor de salida del LVDT será el mismo que tuvo antes del fallo de la alimentación.

## **Selección**



**3.16 Acondicionador**



**LVDT**

Transductor seleccionado: Transductor SX12 V150 de Sensorex más acondicionador externo SX3120

### **Especificaciones técnicas:**

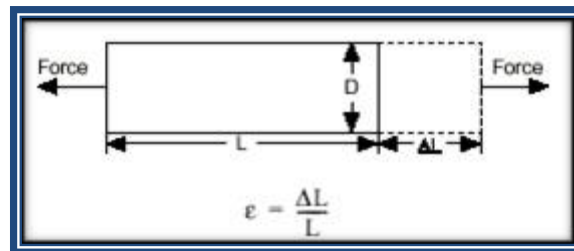
- Rango:  $\pm 75$  mm
- Error de linealidad  $\leq \pm 0,3$  % FSO
- Salida:  $\pm 10$  v
- Sensibilidad: 0,75 mm/mV

### **3.1.2.2 Célula de carga**

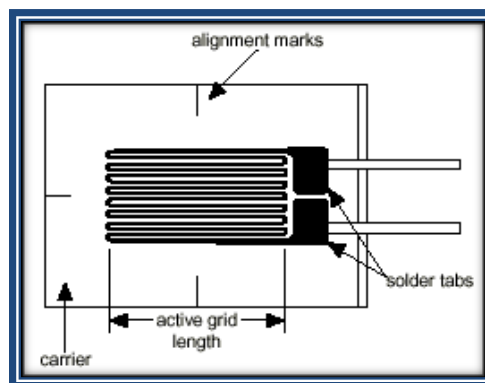
Una célula de carga es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión es indirecta y se realiza en dos etapas. Mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica y la galga extensiométrica convierte el desplazamiento o deformación en señales eléctricas. Por lo general se compone de cuatro galga extensiométricas conectadas en una configuración tipo puente de Wheatstone. Sin embargo es posible adquirir células de carga con solo una o dos galga extensiométricas. La señal eléctrica de salida es típicamente del orden de unos pocos milivoltios y debe ser amplificada mediante un amplificador de instrumentación antes de que pueda ser utilizada.

Para entender cómo funciona una célula de carga, es necesario primero entender la teoría básica que hay detrás de los principios de funcionamiento. Como se dijo antes, las galgas extensiométricas miden la deformación, o la tensión, para determinar la fuerza (carga) aplicada. La extensión se define como el porcentaje del cambio de la longitud. Más concretamente, la extensión es el cambio de longitud,  $\Delta L$ , dividida por la longitud,  $L$ , y que varía de forma directamente proporcional a la carga aplicada. La figura ilustra este concepto.

Al detectar la extensión y conociendo las características físicas del componente de la estructura a la que se aplica la carga, se puede calcular con precisión la fuerza.



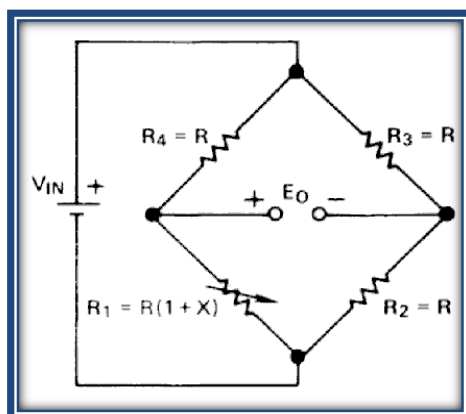
3.17 Extensión ( $\Delta L$ )



3.18 Galga extensiométrica metálica adhesiva

Debido a que los cambios en la extensión y, por lo tanto, de la resistencia, son muy pequeños, se tienen que utilizar circuitos adicionales para amplificar los cambios de la resistencia. Como se ha comentado anteriormente las células de carga, en general, utilizan cuatro galgas extensométricas en una configuración de puente de Wheatstone, lo que significa que cada rama resistiva del circuito está activa.

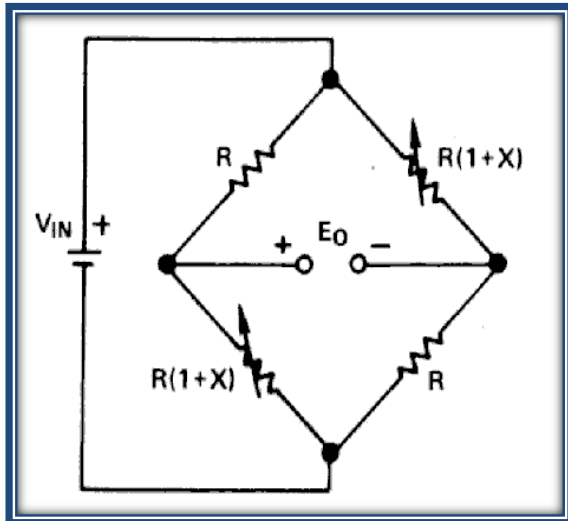
En la siguiente figura se muestra un puente con todas las resistencias iguales; pero una de ellas ( $R_1$ ) es variable por un factor,  $(1+X)$ , donde  $X$  es una desviación fraccionaria alrededor de cero. Como la ecuación indica, la relación entre la salida del puente y  $X$  no es lineal, pero para pequeños rangos de  $X$  es suficientemente lineal para algunos casos.



3.19 Circuito en Puente de resistencias con un solo elemento variable.

$$\begin{aligned}
 E_0 &= \frac{R(1+x)}{R+R(1+X)} V_{IN} - \frac{1}{2} V_{IN} \\
 &= \frac{2+2X-2-X}{2(2+X)} V_{IN} = \frac{V_{IN}}{4} \frac{X}{1+\frac{X}{2}} \\
 &\approx \frac{V_{IN}}{4} X \text{ para } x \ll 1
 \end{aligned}$$

La *Sensibilidad* de un puente es la relación del máximo cambio esperado en el valor de salida a la tensión de excitación. La sensibilidad puede ser doblada si dos idénticos elementos se utilizan como variables. En la figura se muestra como utiliza las resistencias  $R_1$  y  $R_3$  como variables. La salida se duplica, pero la no linealidad permanece la misma que el ejemplo anterior.



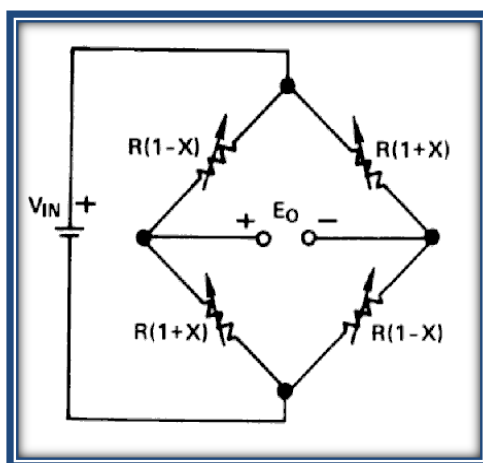
3.20 Circuito en Puesto de resistencias con dos elementos variables.

$$E_0 = \left[ \frac{R(1+x)}{R+R(1+X)} - \frac{R}{R+R(1+X)} \right] V_{IN}$$

$$= \frac{X}{(2+X)} V_{IN} = \frac{V_{IN}}{2} \frac{X}{1+\frac{X}{2}}$$

$$\approx \frac{V_{IN}}{2} X \text{ para } x \ll 1$$

En la siguiente figura se muestra un puente con cuatro resistencias variables, dos de las cuales se incrementan y las otras dos se decrementan en la misma relación. Dos Galgas Extensiométricas idénticas, montadas en oposición configuran este circuito. La salida del puente, tendrá cuatro veces la salida de un puente con un solo elemento variable y además, la naturaleza complementaria de los cambios de resistencia da una salida lineal.



3.21 Circuito en Puesto de resistencias con todos los elementos variables.

$$E_0 = \left[ \frac{R(1+x)}{2R} - \frac{R(1-X)}{2R} \right] V_{IN}$$

$$= \frac{1+X-1+X}{2} V_{IN} =$$

$$= X V_{IN}$$



Esta configuración se conoce como puente completo. El uso de una configuración de puente completo aumenta enormemente la sensibilidad del circuito a los cambios de deformación, proporcionando unas medidas más precisas. Aunque hay una teoría más profunda sobre los puentes de Wheatstone, no es necesario conocerla, porque las células de carga son por lo general una "caja negra" con dos cables de excitación (0V y VIN) y dos cables para la señal de salida (AI+ y AI-). Los fabricantes de las células de carga proporcionan la curva de calibración de cada célula de carga, lo cual permite correlacionar la tensión de salida con una cantidad específica de la fuerza.

Las principales diferencias de estos montajes se encuentran en la sensibilidad y la capacidad de compensación del efecto de temperatura. Esta compensación consiste en suprimir los efectos de la temperatura en el valor de la resistencia de la galga; cuando en un puente de medida coinciden dos o cuatro galgas de iguales características, los efectos de la temperatura se anulan ya que ésta les afecta por igual.

### ***Equilibrado del puente, anulación del 'offset'***

Cuando se instala un puente es muy poco probable que el puente de como salida exactamente 0V cuando no se aplica tensión. Por el contrario, ligeras variaciones en la resistencia entre las ramas del puente y la resistencia de los cables pueden generar una tensión inicial distinta de 0V (tensión de 'offset'). Existen distintos modos en que un sistema puede manejar esta tensión inicial de 'offset'

1. **Compensación por Software-** El primer método compensa la tensión inicial de 'offset' mediante software. Con este método, se toma una medida inicial antes de aplicar la tensión de entrada. Esto también se conoce como auto-cero. Este método es simple, rápido y no requiere ajustes manuales. La desventaja del método de compensación por software es que no se eliminará la tensión real de 'offset' del puente. Si el 'offset' es lo suficientemente grande, se limitará la ganancia que el amplificador puede aplicar a la tensión de salida, por lo tanto limitará el rango dinámico de la medida.
2. **Circuito de anulación del 'offset'** - El segundo método de equilibrado, y por el que nos hemos decantado, utiliza una resistencia regulable, o potenciómetro, para ajustar físicamente la salida del puente a 0V. Este ajuste lo hemos realizado desde el acondicionador de célula de carga. Al variar la posición del potenciómetro se puede controlar el nivel de la salida del puente – ajuste inicial de la salida a 0V.



Se va a explicar brevemente alguno de los diferentes tipos de célula de carga que podemos encontrar.

- *Célula de carga de compresión*

Como lo dice su nombre, son células de carga que miden según su compresión con una excelente estabilidad a largo plazo. En su mayoría, son construidas en acero inoxidable para asegurar la fiabilidad en entornos industriales. Están diseñadas para operar montadas a una superficie plana, y tienen un botón de carga mecanizado como parte integrante de la célula de carga básica



3.22 Célula de carga de compresión.

- *Célula de carga de tensión y compresión*

Estas células permiten medir tanto la tensión como la compresión de las cargas. Están hechas de acero inoxidable, son de tamaño pequeño y son capaces de ofrecer lecturas de alta precisión. Este tipo de células es el que hemos elegido para este proyecto.



3.23 Célula de carga de tensión y compresión

- *Célula de carga con viga en forma de S*

Estas células obtienen su nombre de su forma de S. Pueden proporcionar una salida de acuerdo con la tensión o la compresión y ofrecen rechazo de carga lateral superior.



3.24 Célula de carga con viga en forma de S.

- *Células de carga de flexión de viga*

Son utilizadas en múltiples aplicaciones de células de carga, tanques de pesaje y control de procesos industriales. Estas células tienen un amplio margen de medida máximo



3.25 Célula de carga de flexión de viga.

- *Células de carga de un solo punto*

Este tipo de células se usan en sistemas de pesaje comerciales e industriales. Proporcionan lecturas precisas, independientemente de la posición de la carga en la plataforma



3.26 Célula de carga de un solo punto

## Selección



3.27 Acondicionador Célula de carga y Célula de carga de tensión y compresión

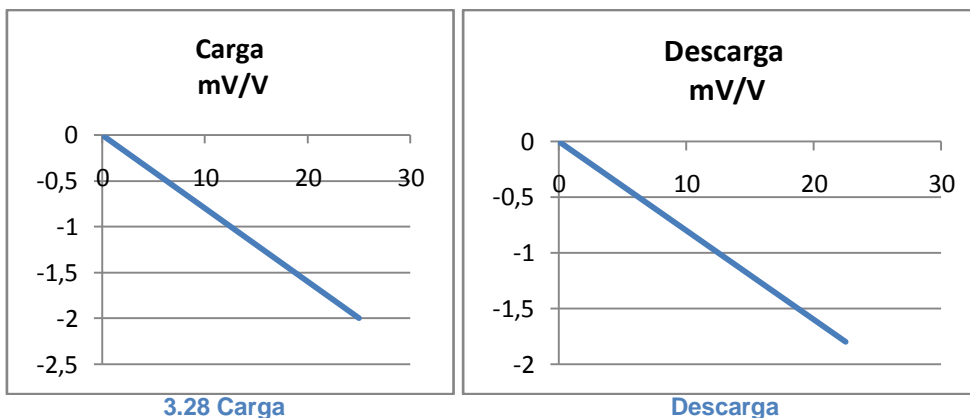
Célula de carga y acondicionador elegidos: Célula de carga TC 4 de AEP TRANSDUCERS y acondicionador de célula M012-E060012A de Moog. Es una célula de bajo perfil con alta estabilidad a largo plazo.

### Especificaciones técnicas:

- Carga nominal : 25 kN
- Error Linealidad <  $\pm 0,05$  % FS
- Histéresis <  $\pm 0,05$  % FS
- Sensibilidad = 2mV/V
- **Tabla de calibración a compresión**

Mediciones KN	Carga mV/V	Descarga mV/V	Ideal mV/V	Factor corrección en Carga	Factor corrección en Descarga
0	0	0	0		
2,5	0,1999	0,1998	0,2	1,00050025	1,001001
5	0,3998	0,3996	0,4	1,00050025	1,001001
7,5	0,5998	0,5997	0,6	1,00033344	1,00050025
10	0,7998	0,7996	0,8	1,00025006	1,00050025
12,5	0,9998	0,9996	1	1,00020004	1,00040016
15	1,1998	1,1997	1,2	1,00016669	1,00025006
17,5	1,4	1,3999	1,4	1	1,00007143
20	1,6	1,6	1,6	1	1
22,5	1,8002	1,8	1,8	0,9998889	1
25	2,0004		2	0,99980004	

3.1 Calibración a compresión

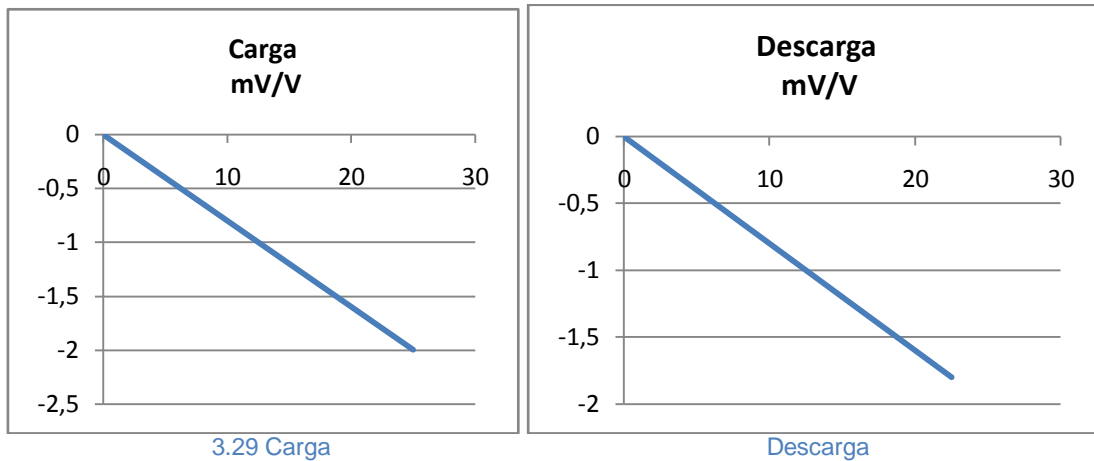


Como se puede observar el error de linealidad es muy bajo para compresión (0,0021%). Se ha calculado el factor de corrección tanto para la carga como para la descarga y se puede ver como es muy cercano a la unidad, por lo que no se ha necesitado ningún tipo de corrección por software.

**Tabla de calibración en Tensión**

Medición KN	Carga mV/V	Descarga mV/V	Ideal mV/V	Factor corrección en Carga	Factor corrección en Descarga
0	0	0	0		
2,5	-0,1999	-0,1997	0,2	-1,00050025	-1,00150225
5	-0,3998	-0,3996	0,4	-1,00050025	-1,001001
7,5	-0,5996	-0,5995	0,6	-1,00066711	-1,00083403
10	-0,7994	-0,7994	0,8	-1,00075056	-1,00075056
12,5	-0,9993	-0,9992	1	-1,00070049	-1,00080064
15	-1,1991	-1,1991	1,2	-1,00075056	-1,00075056
17,5	-1,3989	-1,3989	1,4	-1,00078633	-1,00078633
20	-1,5986	-1,5986	1,6	-1,00087577	-1,00087577
22,5	-1,7984	-1,7984	1,8	-1,00088968	-1,00088968
25	-1,998		2	-1,001001	

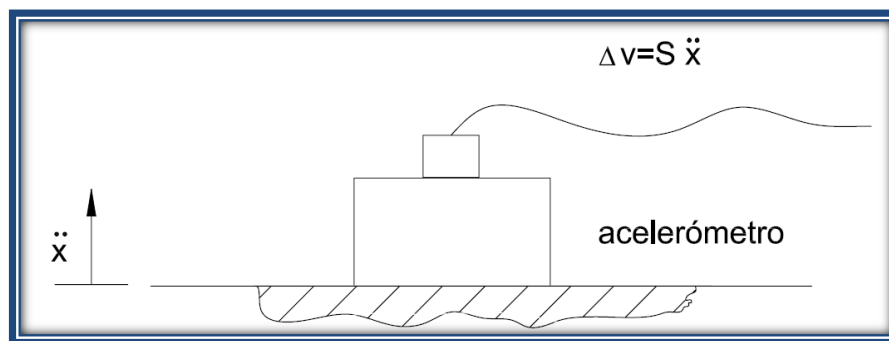
**3.2 Calibración en Tensión**



En este caso el error de linealidad es incluso menor que la compresión (0,013%). Se puede ver también como el factor de corrección es muy cercano a la unidad.

### 3.1.3 Acelerómetro

El acelerómetro es un sensor que proporciona una señal eléctrica que varía de forma proporcional a la aceleración medida. La proporcionalidad viene dada por la sensibilidad del acelerómetro tal y como se esquematiza en la siguiente figura.



3.30 Relación aceleración-variación de potencial proporcionado por un acelerómetro

Es deseable que la sensibilidad sea independiente de la frecuencia, lo que se consigue sólo dentro de un determinado rango de frecuencias que constituye el denominado *rango frecuencial de funcionamiento*.

Los acelerómetros uniaxiales miden la aceleración en la dirección perpendicular a la superficie de medida; sin embargo, los hay también triaxiales, que son capaces de medir la aceleración en las tres direcciones del espacio.

Para escoger un determinado tipo de acelerómetro y un determinado tipo de montaje hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Rango aproximado de amplitud de la aceleración.
- Rango frecuencial de interés.
- Masa máxima admisible del acelerómetro.
- Tipo de alimentación disponible para el acelerómetro.
- Temperatura de trabajo.
- Existencia de campos electromagnéticos que afecten la zona de medida.

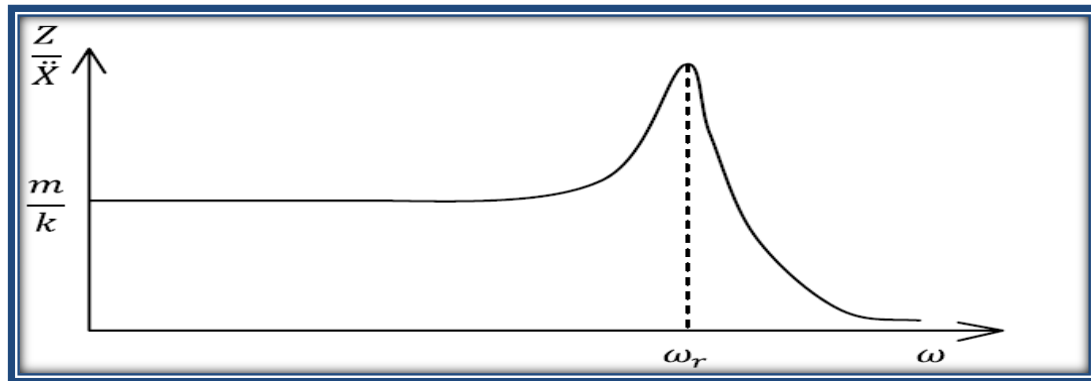
### **Tipos de acelerómetros y su funcionamiento**

Los tres tipos más conocidos de acelerómetros son los capacitivos, los Piezo-resistivos, y los piezo-eléctricos.

El principio mecánico de funcionamiento de los tres tipos es, sin embargo, el mismo. Una masa inercial esta elásticamente unida a la carcasa del acelerómetro, si se asume que ésta está sólidamente unida a la superficie de medida, el desplazamiento oscilatorio de la carcasa ( $x$ ) será solidario al de la superficie, y diferirá del desplazamiento oscilatorio de la masa ( $y$ ), por lo que existirá un desplazamiento relativo entre la masa y la carcasa. Se puede demostrar que el desplazamiento relativo entre masa y carcasa tiene la misma frecuencia que el movimiento oscilatorio de la superficie de medida, pero difiere en módulo y fase. Concretamente, la relación entre la amplitud de aceleración del movimiento oscilatorio de la superficie y el desplazamiento relativo masa-carcasa ( $z = x - y$ ) viene dado por la función de respuesta en frecuencia mecánica:

$$\frac{Z}{\ddot{x}} = \frac{m}{k \sqrt{\left(1 - \left(\frac{w}{wn}\right)^2\right)^2 + (2\xi \frac{w}{wn})^2}}$$

La diferencia entre los distintos tipos de acelerómetro reside en cómo este desplazamiento relativo masa-carcasa se convierte en una señal eléctrica de variación de potencial proporcional a la aceleración. La representación en frecuencia de  $\Delta V / \ddot{x}$  (relación entre la señal eléctrica y la aceleración medida) se denomina *función de respuesta en frecuencia del acelerómetro*. Como estos transductores son generalmente independientes de los equipos de adquisición, es necesario que esta relación sea un valor constante independiente de la frecuencia, lo que sólo se consigue dentro de un determinado rango de frecuencias. Normalmente se define el rango de frecuencias de funcionamiento de un acelerómetro como aquél en el que existe menos de un 10% de variación de la relación  $\Delta V / \ddot{x}$ . Bajo esta hipótesis, el límite superior del rango de frecuencias es  $0,3 \cdot w_r$ , siendo  $w_r$  la frecuencia de resonancia del acelerómetro. Dentro del rango de frecuencias de funcionamiento la relación se denomina *sensibilidad* del acelerómetro y se considera constante.



3.31 Respuesta en frecuencia de un acelerómetro

### Selección

El acelerómetro elegido de tipo piezoeléctrico uniaxial es el modelo **8712A5M1** de Kistler.

En el caso de los acelerómetros piezoeléctricos se usa un cristal de material piezoeléctrico tal como cristales cerámicos o cristales de cuarzo, para convertir el desplazamiento relativo masa-carcasa en una variación de carga eléctrica entre las caras del cristal.

La relación entre la elongación del material piezo-eléctrico que coincide con el desplazamiento relativo masa-carcasa ( $Z$ ) y su variación de carga ( $DQ$ ) se considera constante.

Para obtener la relación entre la aceleración medida y la variación de potencial proporcionada por el acelerómetro, es necesario traducir la variación de carga en una variación de voltaje. Esto se consigue mediante un circuito eléctrico. De esta manera la respuesta frecuencial final de un acelerómetro piezoeléctrico se obtiene mediante el producto de su función de transferencia mecánica ( $Z/X$ ), la función de transferencia del material piezo-eléctrico ( $DQ/Z$ ) y la función de transferencia del circuito eléctrico ( $DV/DQ$ ):

$$H(\omega) = \frac{z}{\ddot{x}} \frac{\Delta Q}{z} \frac{\Delta V}{\Delta Q} \quad \text{con} \quad \frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{\omega T}{\sqrt{1+(\omega T)^2}} \quad \text{y} \quad T = R \cdot C$$

Siendo  $R$  y  $C$  la resistencia y la capacidad del circuito respectivamente

Si la relación  $\Delta Q/Z$  se considera constante, ésta no modifica la forma de la función de respuesta en frecuencia. Sin embargo, la relación  $\Delta V/\Delta Q$  sí es dependiente de la frecuencia.



Concretamente,  $\Delta V/\Delta Q$  es solamente constante a partir de una frecuencia determinada y es por esto que el límite inferior del rango de frecuencias de funcionamiento de los acelerómetros piezoeléctricos no es 0 Hz.

#### *Especificaciones técnicas*

- Rango:  $\pm 5$  g
- Sensibilidad: 1000mV/g
- Rango de frecuencias: 0,5-8000 Hz
- Voltaje d salida:  $\pm 5$  V
- Amplitud de no linealidad:  $\pm 1$  % FSO
- Rango de temperatura: -54 a 100 °C

#### **Montaje de los acelerómetros**

Los métodos de unión de los acelerómetros con la superficie de medida se puede conseguir por: unión roscada, base magnética, cera de abeja, resinas epoxi o mediante piquetas. La selección del tipo de sujeción depende de las posibilidades que ofrezca la superficie a medir y el efecto de la sujeción en la frecuencia de resonancia del acelerómetro, puesto que ésta disminuye conforme se reduce la rigidez de la sujeción.

En este proyecto hemos optado por una unión con base magnética ya que es una forma rápida de unión y la superficie del cilindro es ferro-magnética. El hecho de usar este tipo de unión aumenta la masa del acelerómetro y podría influir en las medidas.

#### **3.1.4 Actuador hidráulico**

Un *actuador* es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

#### **Selección**

Es un actuador de fabricación especial compuesto por un cilindro con cojinetes hidrodinámicos, la servoválvula y acumuladores

El servoactuador está diseñado para trabajos dinámicos y consta de un robusto actuador linear hidráulico controlado por una servoválvula dinámica Moog D761-3005B, un captador de posición LVDT, y sendos acumuladores de membrana AS0100 de 1 litro de presión (precarga nitrógeno 170 bar) y retorno (precarga nitrógeno 40 bar) .



Las principales características del actuador son:

- Doble vástago.
- Bajo rozamiento, libre de efecto stick-slip (Movimiento irregular por adherencia y deslizamiento a sacudidas)
- Cojinete hidrodinámico en vástago y cabeza pistón

El cuerpo del actuador está fabricado en acero de alta resistencia. El vástago está mecanizado en acero aleado de alta resistencia, con una rugosidad de 0.2 Ra aproximadamente.

La estanqueidad se obtiene mediante juntas flotantes de bajo rozamiento en vástago y en cabeza pistón.

El rascador de doble labio se encarga de prevenir la contaminación por partículas del aceite de las cámaras, a la vez que las juntas hidrodinámicas retienen el flujo de drenaje.

Ha de tenerse en cuenta que el presente actuador ha sido diseñado para trabajar a altas frecuencias y por tanto el diseño de juntas es de extremadamente bajo rozamiento.

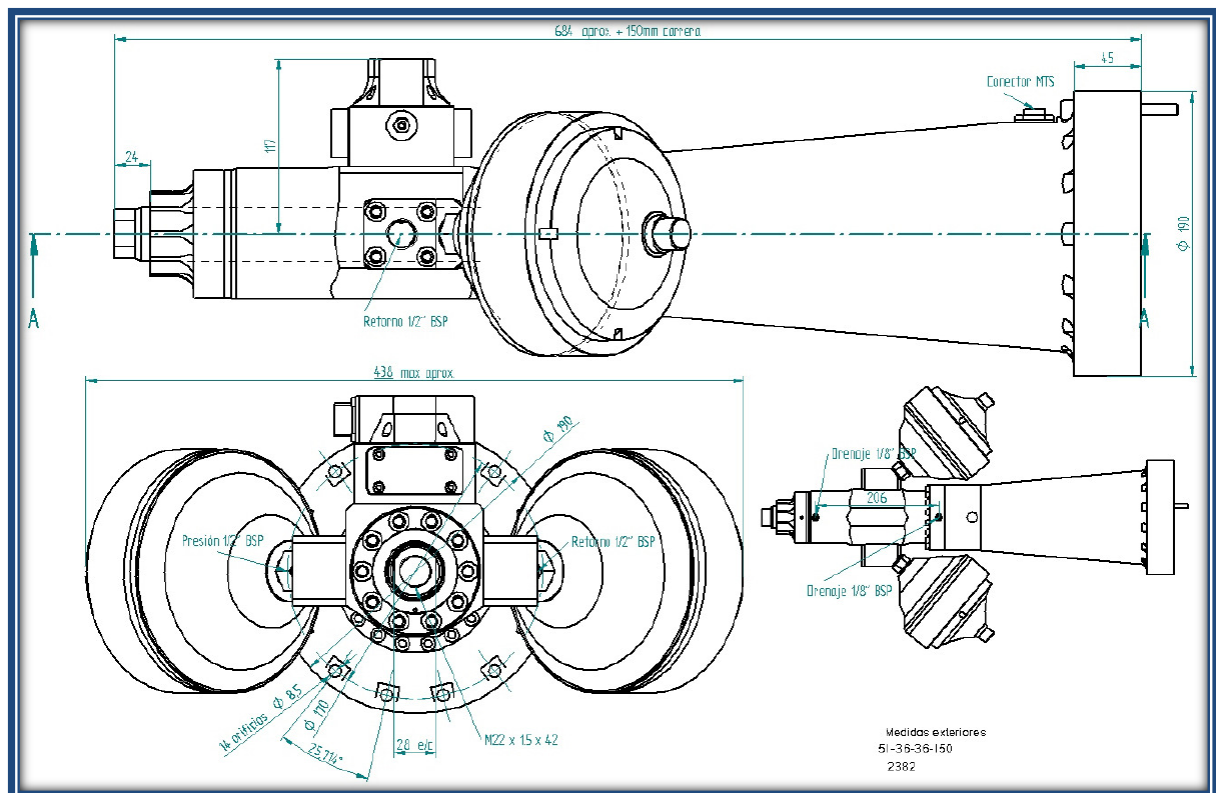
Por otro lado el actuador es de amarre mediante Pié trasero. Ello implica que el actuador no puede compensar esfuerzos radiales, que se transmiten directamente a sus cojinetes. Por lo que hay que procurar que sean los mínimos posibles, puesto que estos esfuerzos trabajan en contra de la vida útil del actuador.

Descripción del actuador:

- Diámetros pistón / vástago 50/36/36 mm
- Carrera mecánica 150 mm
- Pistón  $\varnothing$  50,
- Doble vástago  $\varnothing$  36
- Presión nominal (de trabajo): 210 bar
- Presión prueba: 280 bar
- Presión cálculo: 350 bar
- Presión máxima en el retorno: 10 bar
- Fuerza estática: 22 kN compresión y tracción a 210 bar de presión de suministro.
- A una presión de 210 bar, su esfuerzo máximo estático es superior a  $\pm$  18.92 kN.
- Diseñados para ensayos de fatiga. Alta vida media. Bajo rozamiento con cojinetes hidrodinámicos.

- Placa base de asiento directo para servoválvula G761 con acumuladores en las líneas de P y T de 1 litros respectivamente con sus entradas orientadas para incrementar su eficiencia.
- Bloque de corte, con corte del paso de aceite de las operativas de la servoválvula a las cámaras del cilindro, mediante la desactivación de la electroválvula de pilotaje de los cartuchos lógicos.
- Servoválvula MOOG G761-3005 de 63l/min de caudal.
- Captador de posición LVDT en interior de vástago

El peso total del servoactuador es de aproximadamente 50 kg y sus dimensiones se muestran en la figura:



**3.32 Dimensiones del servo actuador**

Foto del servoactuador:



3.33 Servoactuador

### 3.1.5 Introducción a los sistemas de adquisición de datos

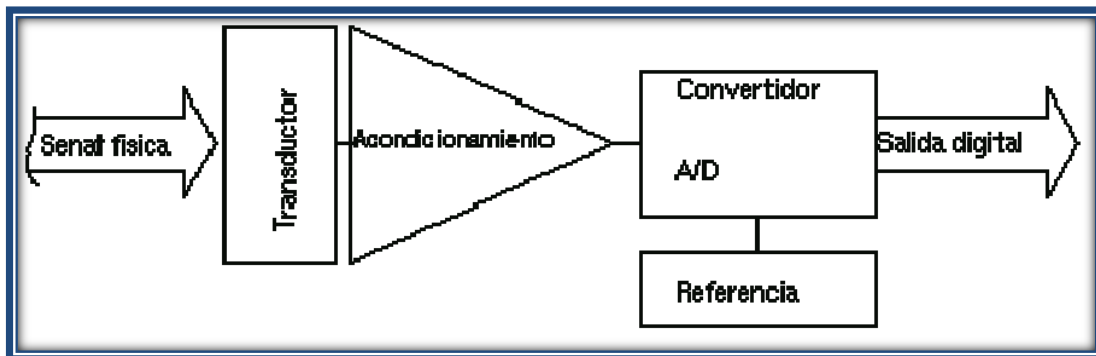
Un sistema de adquisición de datos es un equipo que nos permite tomar señales físicas del entorno y convertirlas en datos que posteriormente podremos procesar y presentar. A veces el sistema de adquisición es parte de un sistema de control, y por tanto la información recibida se procesa para obtener una serie de señales de control.

Las señales digitales pueden venir de una variedad de fuentes tales como: interruptores, relevadores, interfaces compatibles con niveles TTL, etc.

Las señales analógicas vienen de diferentes instrumentos, sensores o transductores que convierten energía en forma de presión, posición o temperatura en voltaje. Las señales analógicas no pueden procesarse directamente en una computadora, deben convertirse primero a un número digital. A este proceso se le llama Conversión Analógica Digital (CAD).

El proceso complementario, Conversión de Digital a Analógico (CDA), cambia datos digitales en señales de voltaje o corriente.

Ambos procesos permiten la medición y control computarizado de procesos industriales y ensayos de laboratorio.



3.34 Arquitectura de un sistema de adquisición

Como vemos, los bloques principales son estos

- El transductor
  - El acondicionamiento de señal
  - El convertidor analógico- digital
  - La etapa de salida (interfaz con la lógica)
- *El transductor* es el elemento que convierte la magnitud física que vamos a medir en una señal de salida (normalmente tensión o corriente).
  - *El acondicionamiento de señal* es la etapa encargada de filtrar y adaptar la señal proveniente del transductor a la entrada del convertidor analógico / digital. Esta adaptación suele ser doble y se encarga de:



- Adaptar el rango de salida del transductor al rango de entrada del convertidor. (Normalmente en tensión).
- Acoplar la impedancia de salida de uno con la impedancia de entrada del otro.

La adaptación entre los rangos de salida del convertidor y el de entrada del convertidor tiene como objetivo el aprovechar el margen dinámico del convertidor, de modo que la máxima señal de entrada debe coincidir con la máxima que el convertidor (pero no con la máxima tensión admisible, ya que para esta entran en funcionamiento las redes de protección que el convertidor lleva integrada).

Por otro lado, la adaptación de impedancias es imprescindible ya que los transductores presentan una salida de alta impedancia, que normalmente no puede excitar la entrada de un convertidor, cuya impedancia típica suele estar entre 1 y 10 k.



### **3.1.6 DAQ**

El DAQ de National Instruments es un sistema de adquisición de datos multifunción formado por el dispositivo de adquisición de datos modelo PCI 6221.

Las señales emitidas por los transductores están dentro de unos rangos de tensión que requieren el uso de acondicionamiento de señales para que la tarjeta de adquisición de datos pueda trabajar correctamente.

#### **3.1.6.1 Tarjeta de adquisición de datos PCI 6221**

La PCI-6221 de National Instruments es una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) multifunción de la Serie M optimizada para aplicaciones condicionadas por costos. Se selecciona los dispositivos de la Serie M de alta velocidad para alcanzar velocidades de muestreo más rápidas o dispositivos de alta precisión para obtener más resolución y superior precisión en las medidas. Incluye 16 entradas analógicas de 16 bits a 250 kS/s, dos salidas analógicas de 16 bits a 833 kS/s y dos contadores/temporizadores de 32 bits a 80 MHz. Esta tarjeta también ofrece 10 líneas de E/S digitales bidireccionales, dos de la cuales están correlacionadas a velocidades de hasta 1 MHz. Admite una entrada de 0-10 V.

#### **Resumen especificaciones:**

Información General	
Formato Físico	PCI
Sistema Operativo / Objetivo	Windows, Real-Time, Linux, Mac OS
Tipos de Medida	Digital, Frecuencia, Codificadores de cuadratura, Voltaje
Familia de Productos DAQ	Serie M
Soporte para LabVIEW RT	Sí
Compatibilidad con RoHS	Sí
Compatibilidad con Matlab®	Sí

#### **3.3 Información general**



Entrada Analógica	
Número de Canales	16 SE/8 DI
Velocidad de Muestreo	250 kS/s
Resolución	16 bits
Muestreo Simultáneo	No
Rango de Voltaje Máximo	-10..10 V
Precisión del Rango	3100 $\mu$ V
Sensibilidad del Rango	97.6 $\mu$ V
Rango de Voltaje Mínimo	-200..200 mV
Precisión del Rango	112 $\mu$ V
Sensibilidad del Rango	5.2 $\mu$ V
Número de Rangos	4
Memoria Interna	4095 muestras

### 3.4 Entrada Analógica

Salida Analógica	
Número de Canales	2
Razón de Actualización	833 kS/s
Resolución	16 bits
Rango de Voltaje Máximo	-10..10 V
Precisión del Rango	3230 $\mu$ V
Rango de Voltaje Mínimo	-10..10 V
Precisión del Rango	3230 $\mu$ V
Capacidad de Corriente (Canal/Total)	5 mA

### 3.5 Salida Analógica

E/S Digitales	
Número de Canales	24 DIO
Temporización	Hardware, Software
Máximo Rango de Tiempo	1 MHz
Niveles Lógicos	TTL
Máximo Rango de Entrada	0..5 V
Máximo Rango de Salida	0..5 V
Entrada de Flujo de Corriente	Sinking, Sourcing
Filtros de Entrada Programables	Sí
Salida de Flujo de Corriente	Sinking, Sourcing
Capacidad de Corriente (Canal/Total)	24 mA/448 mA
Temporizador Watchdog	No
¿Soporta Estados de Encendido Programables?	Sí
¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?	No
¿Soporta E/S de Patrones?	Sí

### 3.6 E/S Digitales.

Contadores/Temporizadores	
Número de Contadores/Temporizadores	2
Resolución	32 bits
Frecuencia Máxima de la Fuente	80 MHz
Entrada Mínima de Ancho de Pulso	12.5 ns
Niveles Lógicos	TTL
Rango Máximo	0..5 V
Estabilidad de Tiempo	50 ppm
Sincronización GPS	No
Generación de Pulso	Sí
Operaciones a Búfer	Sí
Eliminación de Rebotes	Sí
Número de Canales DMA	2

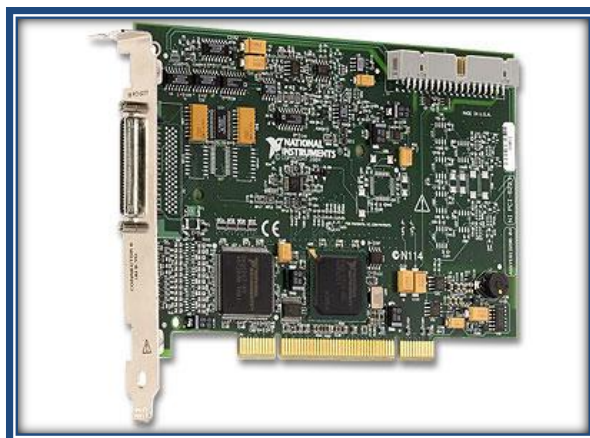
### 3.7 Contadores/Temporizadores

Temporización/Disparo/Sincronización	
Bus de Sincronización (RTSI)	Sí
Disparo	Digital

### 3.8 Temporización/Disparo/Sincronización

La PCI-6221 incluye un completo paquete de software de medida de NI, que consiste en herramientas y drivers para conectar software de instrumentación virtual con hardware para medida y control de NI. El software de medida de NI, construido a partir del driver NI-DAQmx, incluye interfaces intuitivas para programar aplicaciones, herramientas de configuración, asistentes de E/S y herramientas profesionales con las que los ingenieros pueden reducir el tiempo de instalación y configuración del sistema.

Los productos de adquisición de datos de NI también funcionan con software de aplicación, como LabVIEW, LabWindows/CVI, SignalExpress y Measurement Studio for Visual Basic, C++ y .NET, y son compatibles con los sistemas operativos estándar, como Linux, OS X y Windows XP.



3.35 PCI 6221





### *El convertidor Analógico / Digital*

Es un circuito integrado incorporado en la tarjeta de adquisición de datos, presentando en su salida, una señal digital a partir de una señal analógica de entrada, realizando las funciones de cuantificación y codificación.

La **cuantificación** implica la división del rango continuo de entrada en una serie de pasos, de modo que para infinitos valores de la entrada la salida sólo puede presentar una serie determinada de valores. Esto es el número de bits, que es el número de pasos que admite el convertidor (16 bits ) y es lo que indica la resolución de la tarjeta.

Por tanto la cuantificación implica una pérdida de información que no podemos olvidar.

La **codificación** es el paso por el cual la señal digital se ofrece según un determinado código binario, de modo que las etapas posteriores al convertidor puedan leer estos datos adecuadamente. Este paso hay que tenerlo siempre en cuenta, ya que puede hacer que obtengamos datos erróneos, sobre todo cuando el sistema admite señales positivas y negativas con respecto a masa, momento en el cual la salida binaria del convertidor nos da tanto la magnitud como el signo de la tensión que ha sido medida.

**Número de bits** Es el número de bits que tiene la palabra de salida del convertidor, y por tanto es el número de pasos que admite el convertidor. Como el convertidor de la tarjeta es de 16 bits sólo podrá dar a la salida  $2^{16}=65536$  valores posibles.

**Resolución:** Es el mínimo valor que puede distinguir el convertidor en su entrada analógica, o dicho de otro modo, la mínima variación,  $V_i$ , en el voltaje de entrada que se necesita para cambiar en un bit la salida digital. En resumen, tenemos que:

$$V_i = \frac{V_{fe}}{(2^n - 1)}$$

donde n es el número de bits del convertidor, y  $V_{fe}$  la tensión de fondo de escala, es decir, aquella para la que la salida digital es máxima. La tensión de fondo de escala depende del tipo de convertidor, que en nuestro caso sería de 10 V.

$$V_i = \frac{10V}{2^{16} - 1} = 0,1525 \text{ mV/paso}$$

Implica que por cada 0,1525 mV de tensión analógica recibida por el convertidor en su entrada, emite un bit en la salida digital. Quiere decir, que nos podrá emitir bits digitales por cada salto de 0,1525 mV analógico recibido.



### **Frecuencia de muestreo**

Los datos son capturados mediante el ADC usando un proceso de muestreo. Muestrear una señal analógica requiere la toma de muestras de dicha señal en tiempos determinados, tiempos discretos. La frecuencia en que la señal es muestreada es conocida como Frecuencia de Muestreo.

El proceso de muestreo genera valores de la señal a intervalos de tiempo conocidos, ese tiempo es el tiempo que tarda en realizar una medida el convertidor en concreto, y dependerá de la tecnología de medida empleada.

Evidentemente nos da una cota máxima de la frecuencia de la señal a medir. En nuestra tarjeta es de 250000 muestras por segundo y por canal. No tendremos ningún tipo de limitación teniendo en cuenta que las frecuencias de muestreo de nuestros transductores son menores que la de nuestra tarjeta.

La frecuencia de muestreo determina la calidad de la señal analógica que se convierte. Cuanto más alta sea la frecuencia de muestreo mejor será la conversión de la señal analógica, tendrá mayor parecido con la señal real. La frecuencia mínima de muestreo requerida para representar la señal adecuadamente debe ser como mínimo dos veces la frecuencia máxima de la señal analógica que se desea convertir (Principio de Nyquist).

El tiempo de muestreo se mide como el transcurrido desde que el convertidor recibe una señal de inicio de conversión (normalmente llamada SOC, Start of Conversión) hasta que en la salida aparece un dato válido. Para que tengamos constancia de un dato válido tenemos dos caminos:

- Esperar el tiempo de conversión máximo que aparece en la hoja de características.
- Esperar a que el convertidor nos envíe una señal de fin de conversión.

Si no respetamos el tiempo de conversión, en la salida tendremos un valor, que dependiendo de la constitución del convertidor será:

- Un valor aleatorio, como consecuencia de la conversión en curso.
- El resultado de la última conversión

### **3.1.6.2 Conector BNC 2110**

BNC 2110 es un bloque conector de E/S para realizar interfaz de señales de E/S a dispositivos DAQ insertables con conectores de 68 pines en combinación con los cables blindados, el BNC 2110 brinda terminación de señal robusta con muy poco ruido. Es un bloque conector blindado con conectores BNC para la serie M.

Posee dos conectores BNC fijos de salidas analógicas, dos conectores BNC fijos de entradas analógicas y 6 conectores BNC configurables para salidas o entradas. El bloque de terminales para señales digitales posee 3 puertos configurables de entradas/salidas.



**3.36 Bloque conector BNC 2110**

### **3.1.6.3 Cable NI SHC68-68-EPM**

El SHC68-68-EPM de National Instruments está especialmente diseñado para funcionar con dispositivos de la Serie M. Este cable ofrece secciones digitales y analógicas separadas, pares cruzados blindados individualmente para entradas analógicas, salidas analógicas blindadas individualmente y pares cruzados para E/S digitales críticas, el cuál presenta las siguientes características:

- Presenta pares analógicos cruzados blindados individualmente para reducir interferencia con tarjetas de alta velocidad.
- 2 m de longitud.
- Compatible con RoHS.
- Conecta dispositivos de 68 pines de la Serie M directamente a accesorios de 68 pines.



3.37 Cable NI SHC68-68-EPM

#### **3.1.6.4 PC**

Ordenador Personal estado del arte tipo minitorre para poder alojar dos tarjetas PCI de ranura completa.. Especificaciones:

- 2 Gb RAM
- Procesador Intel 3,6 GHz
- 500 Gb disco duro
- Sistema operativo: Windows 7 Español.

En este equipo se ha procedido a instalar los correspondientes drivers y controladores de la tarjeta de adquisición de datos. Se ha instalado también los paquetes de programación para el control de instrumentación LabVIEW versión 10.0



## **3.2 LABVIEW COMO LENGUAJE DE PROGRAMACION**

Tradicionalmente, la mayoría de aplicaciones de control o de adquisición de datos se programan en lenguajes de alto nivel muy potentes tales como Pascal, Basic, etc. El problema de estos lenguajes es que no proporcionan la posibilidad de realizar la programación de forma grafica, con lo que ello implica.

Por otro lado, existen lenguajes como el Visual C++ o Visual BASIC que permiten trabajar con entornos gráficos, pero son mucho más complejos en su utilización a nivel usuario.

La programación en LabVIEW se podría comparar con una placa de circuito impreso, ya que por un lado se tienen componentes electrónicos (transistores, resistencias,...) que es lo que realmente el usuario ve por pantalla. Los terminales de cada elemento que aparece por pantalla se rutearán a los bloques funcionales (circuitos integrados) para generar los datos que se deseen visualizar. La programación se realiza de manera grafica (editando y conectando iconos), por lo que las aplicaciones se crean de manera intuitiva (plasmando las ideas sobre el diagrama de bloques).

### **3.2.1 Introducción al Labview**

Al estudiar la configuración de los sistemas de adquisición de datos modernos DAQ (Data Acquisition System), basados en equipos PC (Personal Computer), se aprecia que una de las partes que componen dichos sistemas, es el software quien controla y administra los recursos del computador, presenta los datos, y participa en el análisis.

Para los sistemas DAQ se necesita de un software de instrumentación, que sea flexible para futuros cambios, y preferiblemente que sea de fácil manejo, siendo lo más poderoso e ilustrativo posible.

Programas y lenguajes de programación que cumplan con lo dicho existen en gran número en el mercado actual, como por ejemplo Visual Basic, C, C++, Visual C++, Pascal, LabWindows CVI, LabVIEW, y muchos otros confeccionados específicamente para las aplicaciones que los necesiten. En el presente proyecto nos vamos a centrar en Labview como lenguaje de programación seleccionado por las múltiples posibilidades que ofrece.

LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación grafica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:



- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

LabVIEW es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el *lenguaje C* o *BASIC*.

Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea la programación gráfica o *lenguaje G* para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos. También proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan *Instrumentos Virtuales (Vis)*, porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales.

Los *Vis* tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros *Vis*.

LabVIEW tiene la característica de descomposición modular ya que cualquier VI que se ha diseñado puede convertirse fácilmente en un módulo que puede ser usado como una sub-unidad dentro de otro VI. Esta peculiaridad podría

compararse a la característica de procedimiento en los lenguajes de programación estructurada.

Es un sistema abierto, en cuanto a que cualquier fabricante de tarjetas de adquisición de datos o instrumentos en general puede proporcionar el driver de su producto en forma de VI dentro del entorno de LabVIEW. También es posible programar módulos para LabVIEW en lenguajes como C y C++, estos módulos son conocidos como Sub-VIs y no se difieren a los VI creados con LabVIEW salvo por el interfaz del lenguaje en el que han sido programados. Además estos Sub-VIs son muy útiles por ejemplo en el campo de cálculos numéricos complejos que no se encuentran incluidos en las librerías de LabVIEW.

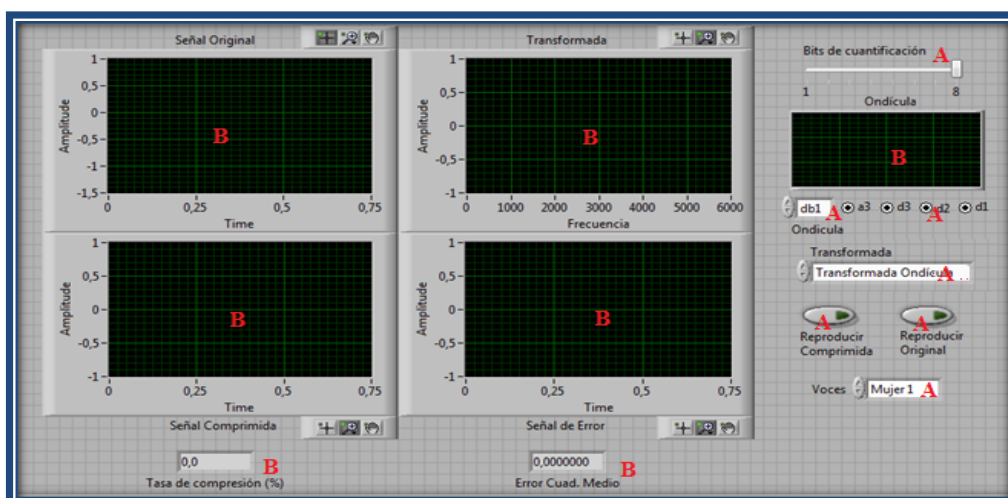
Se podría decir que en cualquier VI de LabVIEW existen dos caras bien diferenciadas: el Front Panel (Panel Frontal) y el Block diagram (Diagrama de Bloque). Las *paletas* de LabVIEW son las que proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el *panel frontal* como el *diagrama de bloques*.

- *Panel frontal*

Se trata de la interfaz grafica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa.

Un *panel frontal* está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.

Cada uno de ellos puede estar definido como un *control* (A) o un *indicador* (B). Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.



3.38 ej. De panel frontal de Labview

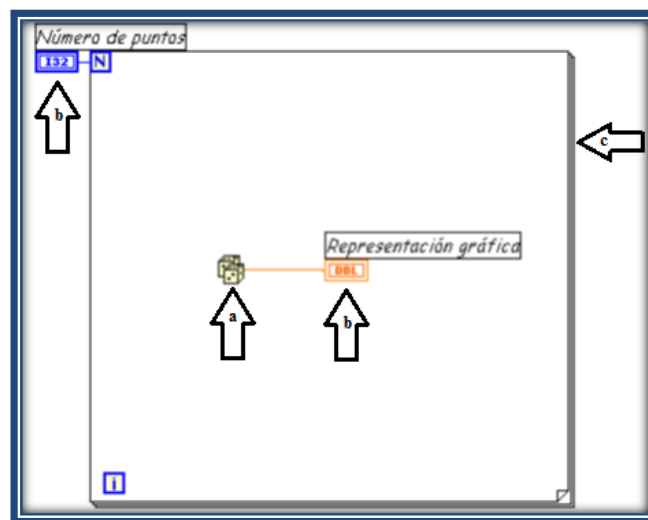


- Diagrama de bloques

El *diagrama de bloques* constituye el código fuente del VI. En el *diagrama de bloques* es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el *panel frontal*.

El *diagrama de bloques* incluye *funciones* y *estructuras* integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el *lenguaje G* las *funciones* y las *estructuras* son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

Los *controles* e *indicadores* que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los *terminales*.



3.39 ej. De diagrama de bloques de Labview

- (a) Función
- (b) Terminales (Indicador y control)
- (c) Estructura

El *diagrama de bloques* se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

LabVIEW posee una extensa biblioteca de *funciones*, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

Las *estructuras*, similares a las declaraciones causales y a los bucles en lenguajes convencionales, ejecutan el código que contienen de forma condicional o repetitiva (bucle *for*, *while*, *case*,...).

Los cables son las trayectorias que siguen los datos desde su origen hasta su destino, ya sea una función, una estructura, un terminal, etc. Cada cable tiene un color o un estilo diferente, lo que diferencia unos tipos de datos de otros.



- *Paletas*

Las *paletas* de LabVIEW proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el *panel frontal* como el *diagrama de bloques*. Existen las siguientes paletas

1. *Paleta de herramientas (Tools palette)*

Contiene las herramientas necesarias para depurar y editar los objetos tanto del *panel frontal* como del *diagrama de bloques*.

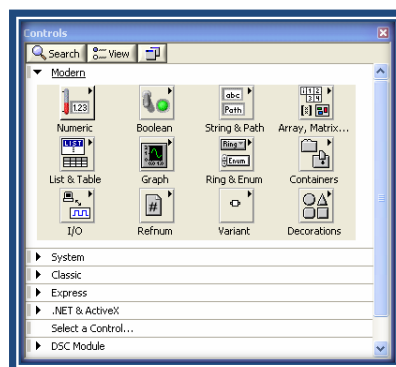
La Paleta de herramientas nos permite diseñar/editar el panel frontal, mover VIs, la inserción de textos, la edición de colores, etc.



3.40 Tools palette

2. *Paleta de Controles (Control palette)*

La *paleta de controles para el panel frontal*, nos permite, pinchando y arrastrando con el ratón del ordenador, insertar los controles necesarios para nuestra aplicación, creando el interfaz del VI con el usuario

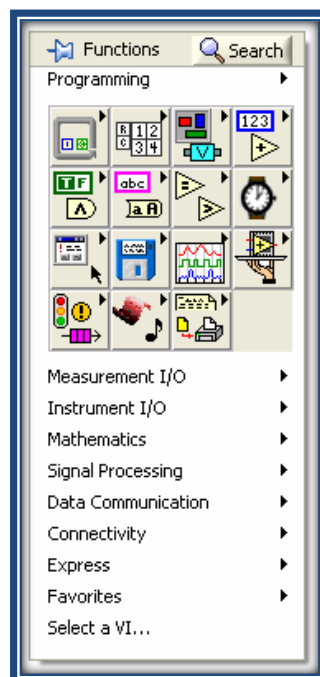


3.41 Paleta de controles para el panel frontal

### 3. Funciones

La *paleta de funciones* contiene todos los objetos que se emplean en la implementación del programa del VI, ya sean *funciones* aritméticas , de entradas/ salidas de señales , entradas/salidas de datos a ficheros, adquisición de señales ,temporización de la ejecución del programa...

Para seleccionar una función o estructuras concretas, se debe desplegar el menú *Funcions* y elegir entre las opciones que se aparecen



3.42 Paleta de funciones para la creación del diagrama de bloques





# 4 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

**Descripción:** *Representa el conjunto de tareas y actividades que suponen la realización propiamente dicha del proyecto.*

*Responde, ante todo, a las características técnicas específicas del proyecto y supone poner en juego y gestionar los recursos en la forma adecuada para desarrollar el equipo.*

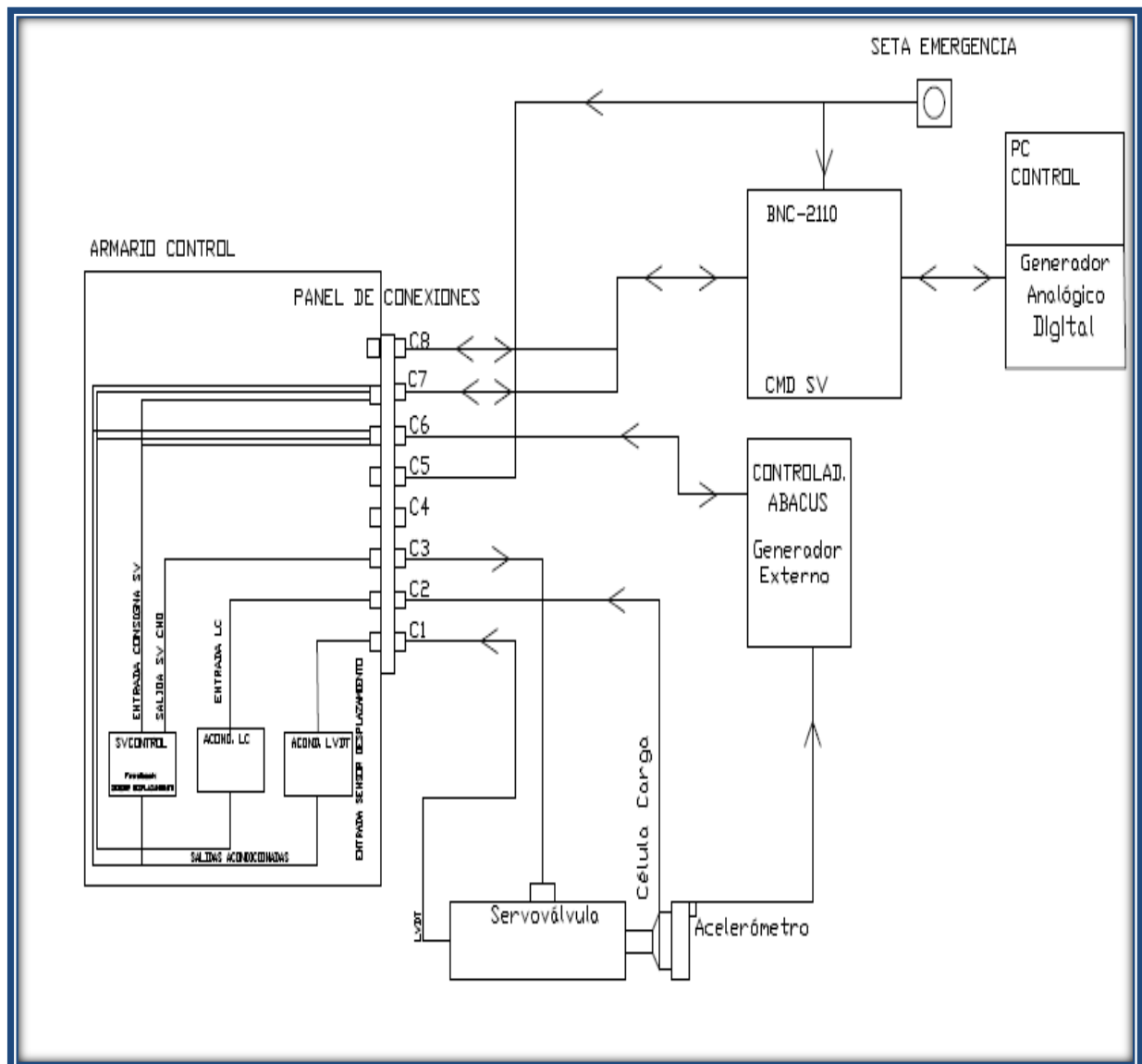
Puntos objeto de estudio:

- Sistema eléctrico
- Sistema de control. Aplicación Software

#### 4.1 SISTEMA ELÉCTRICO

Se presenta una definición completa del sistema eléctrico, destacando los diferentes subsistemas y la conexión entre ellos.

A partir de esta información, surge un esquema general de instalación.



4.1 LayOut Eléctrico

El armario de control es el encargado de distribuir las señales de alimentación al subsistema hidráulico y envía las señales de control al PC y al ABACUS.

### **Descripción del armario eléctrico**

- Entrada de alimentación 230 Vac.
- Seccionador de entrada.
- Protección magnetotérmica de entrada general.
- Protección diferencial SI 30 mA
- Fuente de alimentación de 230 Vac / 24 Vcc de 5 A modelo PULS SL5.100
- Servocontrolador modelo G122-829 de MOOG .
- Acondicionador de célula de carga modelo E060012 de MOOG
- Acondicionador de LVDT SX3120
- Relés para activar:
  - Conmutador para selección de comando Remoto/Local.
  - Válvula de descarga
  - Válvula de bloqueo
  - Avisador visual de ensayo en marcha



#### **4.2 Armario de control**

En el panel frontal del armario se tienen los siguientes indicadores del estado del sistema:

1. Interruptor general, localizado en el lateral izquierdo.
2. Piloto Blanco : Alimentación 24 Vcc ON
3. Piloto Amarillo: Sistema armado
4. Piloto Rojo: Seta de emergencia pulsada
5. Llave: Armar sistema

6. Seta de emergencia.
7. Panel de conexiones en el lateral derecho del armario.

El panel de conexiones mostrado en la figura 4.3 es Interfaz entre el armario de control y el resto de subsistemas eléctricos permitiendo la comunicación de todos los elementos del sistema. En él se incluyen los siguientes conectores:

- *Conector 1:* Conecta con el Sensor de desplazamiento, integrado en el interior del actuador, con el acondicionador localizado en el interior del armario de control.
- *Conector 2:* Conecta la célula de carga al acondicionador localizado en el interior del armario de control.
- *Conector 3:* Conecta el servocontrolador P-I con la servoválvula del actuador, enviando la señal salida del lazo de control.
- *Conector 4:* Conecta el bloque BNC-2110 con el armario de control, las señales que por aquí se envían son las señales a las electroválvulas, señal de descarga y señal de bloqueo del bloque de acumuladores.
- *Conector 5:* Conecta la seta de emergencia con el armario de control.
- *Conector 6:* Conecta el armario de control con el Abacus.
- *Conector 7:* Conecta con la tarjeta PCI, a través del bloque conector BNC-2110, las señales analógicas. Señal acondicionada de la célula de carga y del LVDT, comando de salida tras el conmutador y salida de referencia para el control de la servoválvula.
- *Conector 8:* Conecta con la tarjeta PCI ,a través del bloque conector BNC-2110, las señales digitales



**4.3 Panel de conexiones**



La máquina se gobierna desde el PC de control, decidiendo si la generación se realiza por medio de la tarjeta generadora de comandos localizada en el interior del PC y conectada al armario de control a través del bloque BNC -2110, o desde el controlador ABACUS. En el PC de control reside la tarjeta de generación y adquisición PCI, en la que se ha insertado un conmutador para la selección de control del sistema desde el Abacus o desde la propia tarjeta.

La tarjeta PCI se conecta al resto del sistema mediante el bloque de conexiones BNC-2110. Este bloque se conecta al *Armario de Control* y al *PC*.

Las señales que aparecen entre elementos son:

- *Entre el Armario de control y el Cilindro:* Entre estos elementos del sistema se transmite: la señal del LVDT desde el cilindro al armario de control, (esta señal una vez acondicionada entra en el controlador P-I para cerrar el lazo del control interno), la señal de célula de carga al armario de control y la señal de comando a la servoválvula localizada en el actuador y que le llega procedente del armario de control.
- *Entre el Cilindro y el ABACUS:* Al Abacus le llega procedente del cilindro la señal del acelerómetro. El Abacus es el encargado de cerrar el lazo de control externo por lo que la señal del acelerómetro es la variable de control que entra como señal de feedback .
- *Entre el Armario de control y el bloque de conexiones BNC-2110:* Se transmiten del Armario de control al BNC 2110 las señales acondicionadas del LVDT y de la célula de carga, la señal de la presión de línea para conocer el estado de la central hidráulica (Señal de Hidráulica OK) además de la señal de sistema armado y el modo en el que se está realizando el ensayo, Local/Remoto.  
Del BNC 2110 al Armario de control se envía la señal de referencia hacia el servocontrolador, generada bien por la tarjeta PCI si se trabaja en modo manual o generada por el Abacus si estamos trabajando en modo remoto. Además se envían las señales digitales de las electroválvulas y la señal del avisador luminoso
- *Entre el Armario de control y el ABACUS:* Se transmite la señal acondicionada del LVDT y de la célula de carga y se envía la señal de referencia para el controlador de la servoválvula en caso de ensayos en modo remoto.
- *Entre el bloque de conexiones BNC-2110 y el PC Control:* Entre estos elementos se envían señales digitales y analógicas para el correcto control del sistema. Conexión con la tarjeta de adquisición PCI para el control de lazo interno.
- *Por último una Seta emergencia:* Este elemento inicia la parada de emergencia, que actúa sobre el armario de control para parar la central hidráulica y también sobre el bloque BNC 2110 que envía la señal digital





al PC para poner en marcha las correspondientes seguridades vía Software.



## **4.2 SISTEMA DE CONTROL**

El sistema de control tiene las siguientes funciones:

1. *Interfaz con el usuario para introducir las condiciones deseadas de ensayo.*
2. *Generación de señales de referencia para el cilindro.*
3. *Realización de ensayos en lazo cerrado.*
4. *Gestión de las seguridades necesarias en la máquina: límites de desplazamiento del cilindro, emergencia, etc.*

Los elementos que constituyen el sistema de control son los siguientes:

- *Aplicación para el Control del cilindro.* Este equipo está basado como se detalla en el capítulo anterior en un hardware de control PCI de National Instruments (tarjeta de generación y adquisición) que permite ejecutar las rutinas para posicionar el actuador, realizar los ciclos de ensayo, controlar seguridades software como límites de desplazamiento y asegurar el control de los perfiles de consigna.
- *PC de control y adquisición.* Se comunica con la tarjeta generadora PCI y con el controlador remoto ABACUS. Contiene la aplicación de control para la definición de los perfiles de la máquina, la visualización de las señales del ensayo así como la configuración de señales.
- *ABACUS.* Controlador del sistema para cierre de lazo de control externo y realización de ensayos de tipo Random, Seno , ... además de registrar y analizar los datos en tiempo real

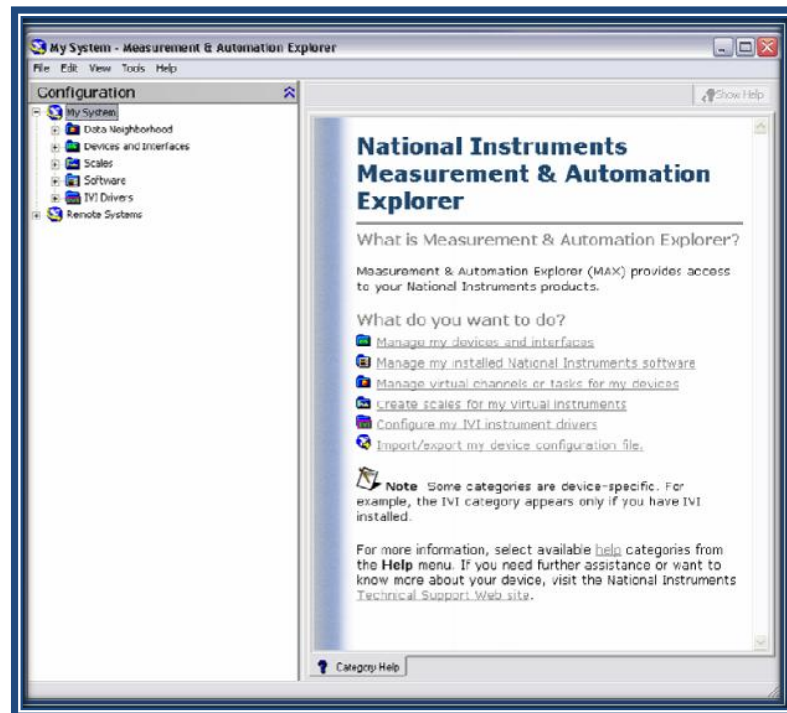
#### 4.2.1 Configuración tarjeta PCI

En esta sección vamos a explicar los pasos a seguir para configurar las entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

Los canales los vamos a configurar con Measurement & Automation (MAX)

**MAX** es un explorador que permite tener el acceso al software y a la configuración de los diferentes dispositivos conectados.

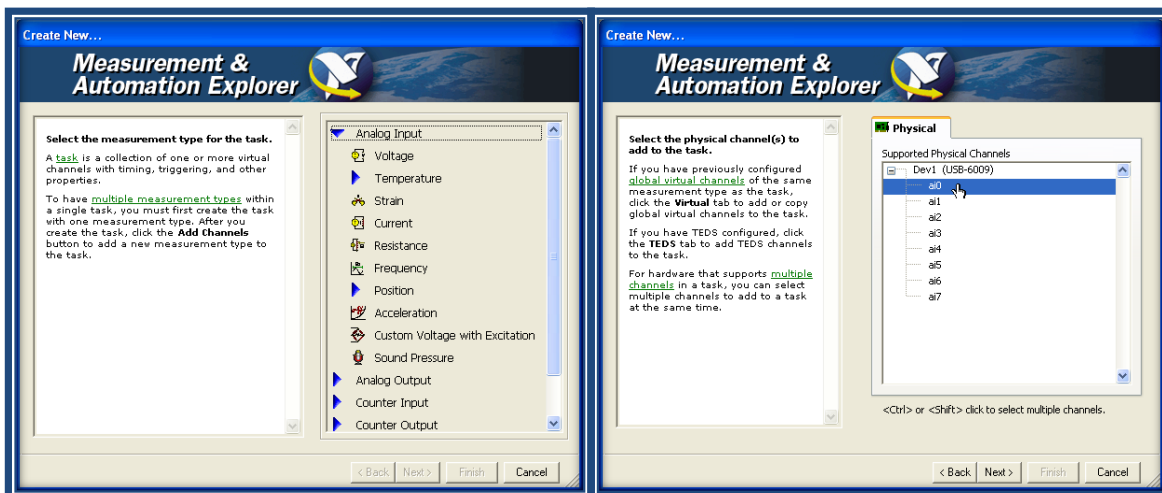
- Permite configurar el hardware y software de NI.
- Crea y edita canales virtuales, tareas, interfaces y escalas virtuales.
- Realiza un diagnostico del sistema.
- Detecta los dispositivos e instrumentos conectados al sistema.



4.4 Pantalla principal de MAX

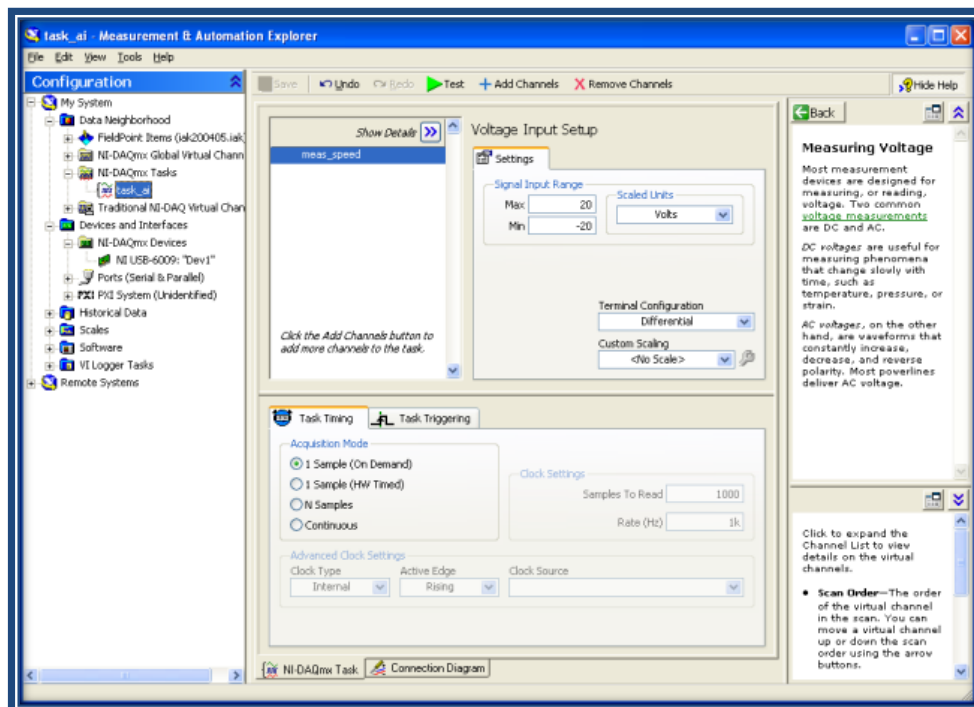
Lo primero que haremos es esperar a que el asistente busque y reconozca la tarjeta PCI 6221. Una vez reconocida ya podemos acceder a la configuración de los canales.

Para crear una nueva tarea podemos elegir entre los diferentes tipos de medición. Seleccionamos las entradas y salidas digitales y analógicas como se muestra en la ilustración:



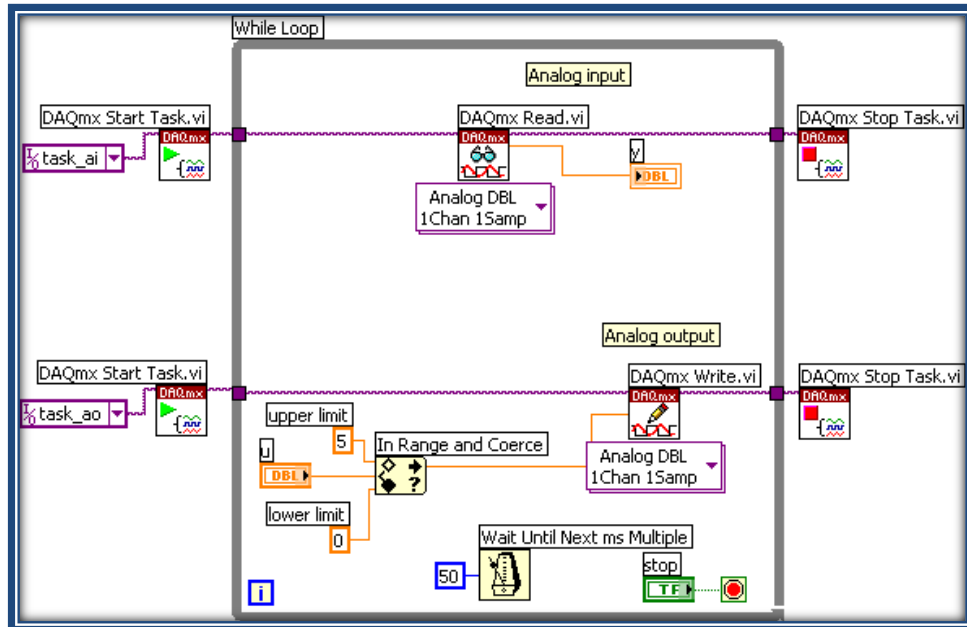
4.5 Lista de diferentes tipos de medición y Selección de canal

Por último se puede configurar el canal con el rango de tensión que se necesite, siempre teniendo en cuenta los límites físicos de la tarjeta que en este caso son  $\pm 10V$ . También se puede introducir una ganancia o aplicar un offset en el caso de que se necesite.



4.6 Ejemplo de configuración de un canal analógico

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de cómo se programan las tareas en LaviView, cómo leer de un canal, y la forma de escribir una muestra en un canal.



4.7 Ejemplo de cómo leer y escribir en la tarjeta

#### **4.2.2 Interfaz de Usuario**

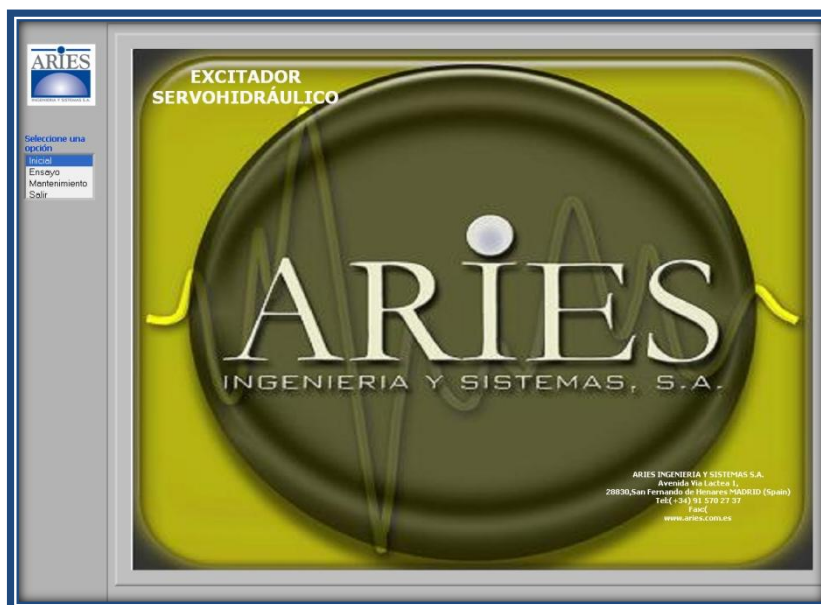
El objetivo de este capítulo es describir detalladamente las pantallas del software de control donde se detalla la operativa y funcionamiento del sistema. Se pretende describir la aplicación de interface de usuario y su uso.

La aplicación consta de dos módulos:

- **CONTROL DE ENSAYO:** Permite tanto la generación de formas de onda como comandos para el lazo de control interno (control en desplazamiento) así como la visualización de los comandos generados para el controlador analógico del actuador y la supervisión del estado del sistema.
- **MANTENIMIENTO:** Permite al usuario el acceso a todas las entradas y salidas de la tarjeta de generación de comandos y configurar parámetros de señales como ganancias, offsets y polaridad.

- **INICIO**

Al ejecutar el programa, aparece el mensaje que se muestra en la siguiente figura:



**4.8 Inicio**

Desde aquí el usuario puede acceder a la pantalla de ensayo o bien al área de mantenimiento, seleccionando las opciones de la lista que aparece a la

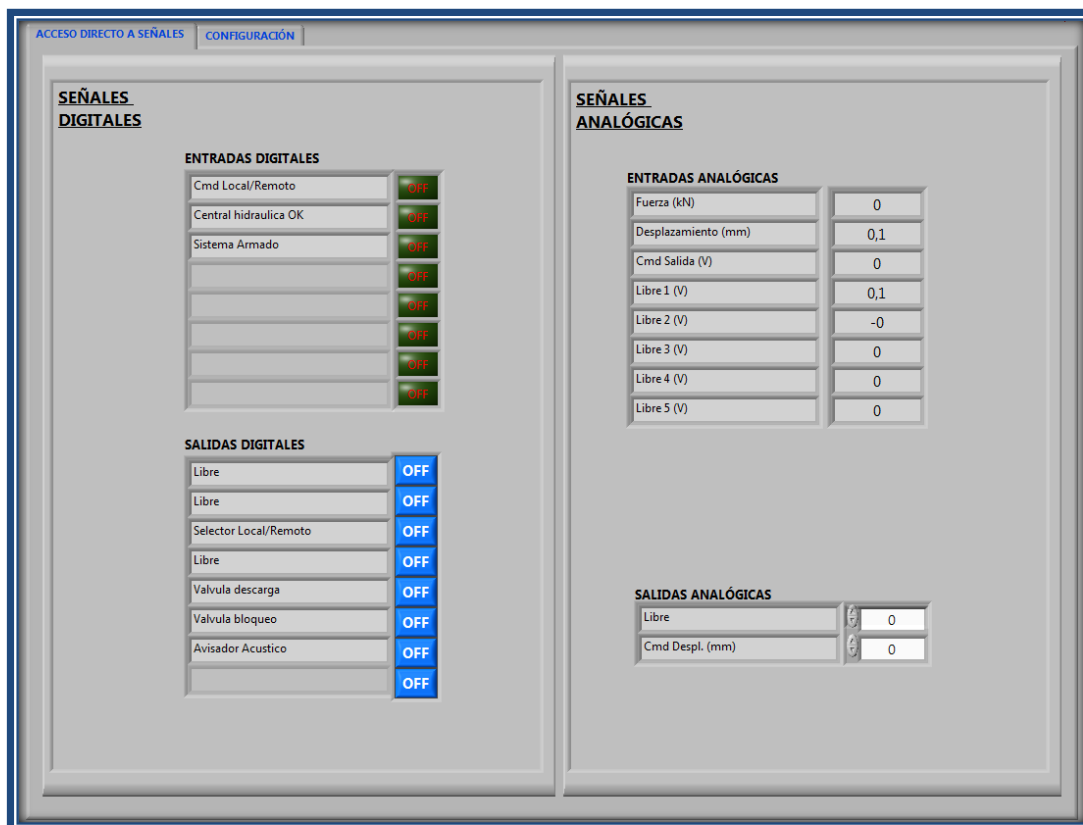
izquierda. Se trata de un subpanel en el que se lanza el modulo seleccionado de forma dinámica.

- **MANTENIMIENTO**

Al pulsar en la lista de la ventana de inicio sobre Mantenimiento, aparece un cuadro de diálogo de control de acceso en el que únicamente los usuarios autorizados, con la clave de acceso, podrán acceder a este módulo.

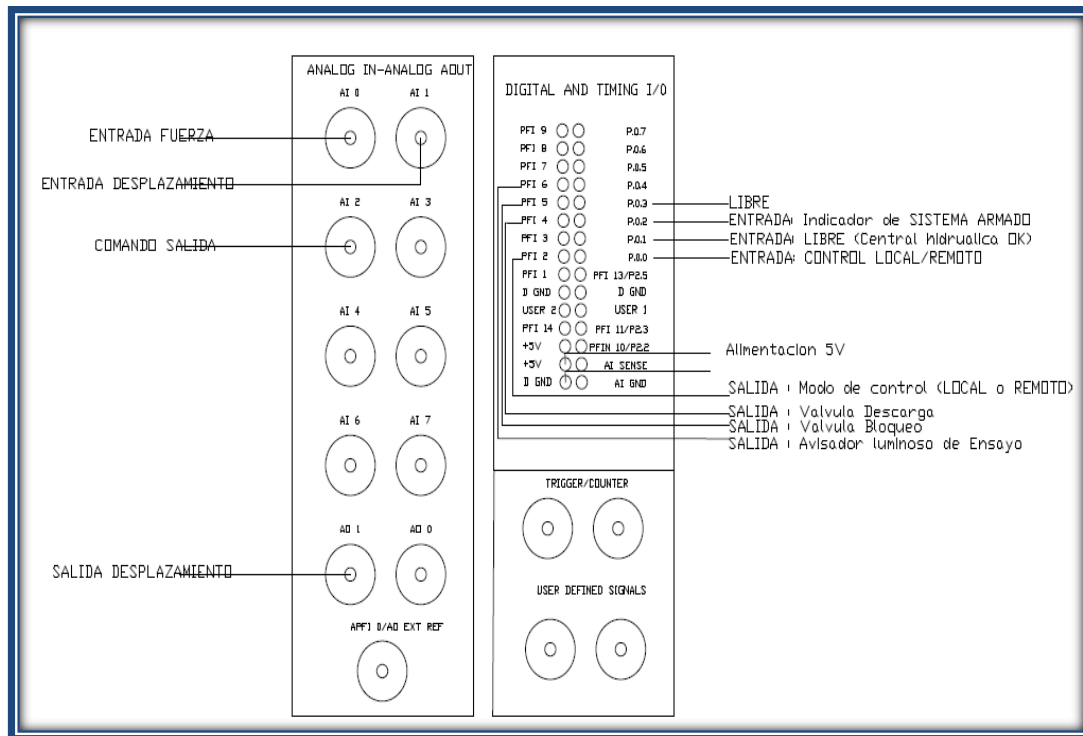
- **Acceso directo a señales**

Desde la pantalla de acceso directo a señales el usuario puede establecer los valores de las salidas digitales y/o analógicas directamente y monitorizar el estado de las entradas digitales y analógicas.



4.9 Configuración de señales. Módulo de Mantenimiento

Estas señales se relacionan con las señales del bloque de conexión BNC 2110 de la siguiente manera:



**4.10 Conexión con el bloque BNC 2110.**

**Entradas digitales** -- Visualización de las señales de entradas digitales.

- Entradas digital 0 corresponde a control LOCAL o REMOTO. El modo local significa que el control se realiza desde la tarjeta de generación de comandos, bien con rampas o con otras formas de onda. En modo remoto, el controlador externo es el que genera las referencias para el servocontrolador.
- Entrada digital 1 es la señal que muestra si el sistema hidráulico está listo (Señal de OK)
- Entrada digital 2 es el indicador de seta de emergencia, en el momento que esta se pulse el indicador led se encenderá y no se apagará hasta que la seta se desactive.
- El resto de entradas digitales quedan libres.

**Salidas digitales** -- Activar/Desactivar salidas digitales.

- Salida digitales 2 corresponde al modo de control (LOCAL o REMOTO). Esta señal está conectada a la entrada digital 0.
- Salida digital 4 energiza la válvula de descarga cuando esta se activa.
- Salida digital 5 energiza la válvula de bloqueo cuando esta se activa





- Salida digital 6 activa el avisador Luminoso de ensayo cuando está en modo manual y el cilindro está en movimiento.
- El resto de salidas digitales quedan libres.

**Entradas analógicas** -- Visualización de las señales de entrada analógica.

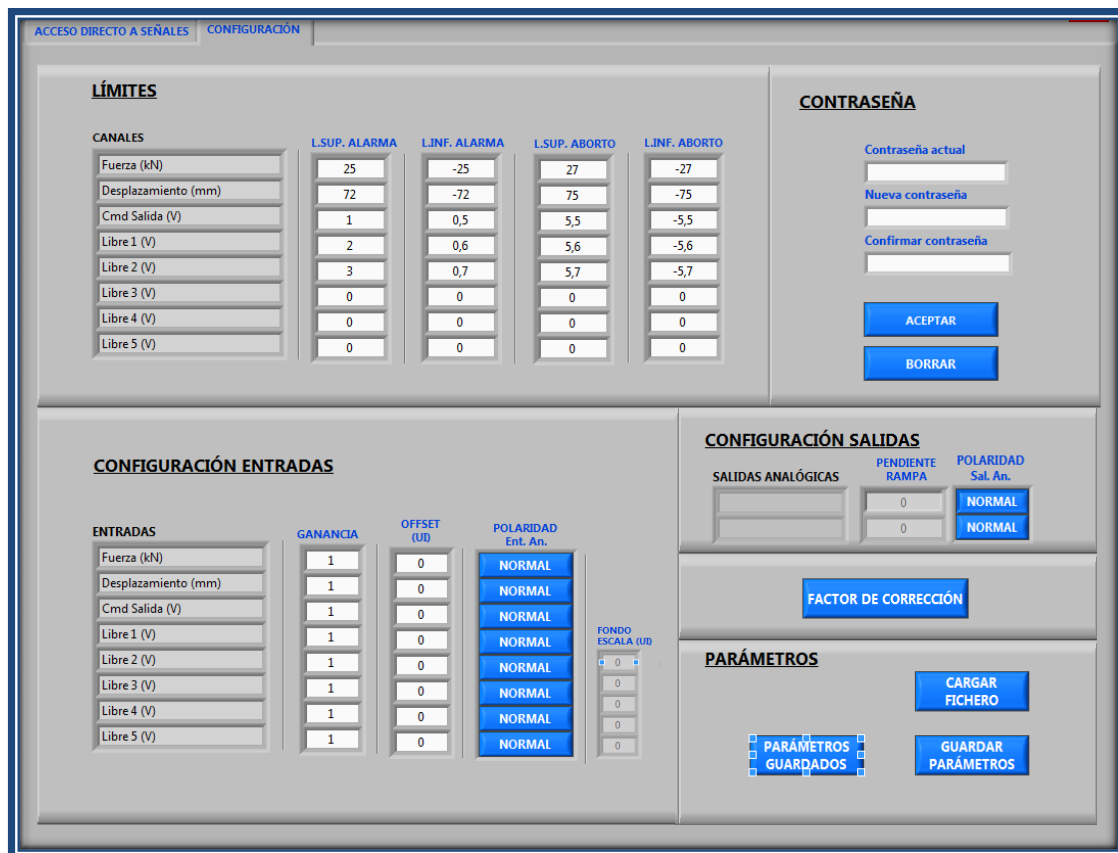
- Fuerza (kN): Entrada analógica 0, indica la lectura de la célula de carga en kN.
- Desplazamiento (mm): Entrada analógica 1, corresponde a la lectura del sensor de desplazamiento del cilindro en mm.
- Cmd salida (V): Entrada analógica 2 que muestra la señal de salida de comando hacia el controlador analógico (referencia tras el conmutador). Se expresa en voltios.
- El resto de las entradas analógicas quedan libres.

**Salidas analógicas** -- envío de señales analógicas en unidades de ingeniería.

- Salida analógica 0 :Libre
- Cmd Despl. (mm): Salida analógica 1, por la cual se envían señales de referencia al controlador analógico cuando se trabaja en modo local. Esta salida está conectada al conmutador de manera que al activarse las salidas digitales 0 (control local), la salida de comando ataca al controlador analógico.

## CONFIGURACIÓN

Permite configurar el sistema de acuerdo con los parámetros que aquí se introducen.



CANALES	L.SUP. ALARMA	L.INF. ALARMA	L.SUP. ABORTO	L.INF. ABORTO
Fuerza (kN)	25	-25	27	-27
Desplazamiento (mm)	72	-72	75	-75
Cmd Salida (V)	1	0,5	5,5	-5,5
Libre 1 (V)	2	0,6	5,6	-5,6
Libre 2 (V)	3	0,7	5,7	-5,7
Libre 3 (V)	0	0	0	0
Libre 4 (V)	0	0	0	0
Libre 5 (V)	0	0	0	0

ENTRADAS	GANANCIA	OFFSET (UB)	POLARIDAD Ent. An.
Fuerza (kN)	1	0	NORMAL
Desplazamiento (mm)	1	0	NORMAL
Cmd Salida (V)	1	0	NORMAL
Libre 1 (V)	1	0	NORMAL
Libre 2 (V)	1	0	NORMAL
Libre 3 (V)	1	0	NORMAL
Libre 4 (V)	1	0	NORMAL
Libre 5 (V)	1	0	NORMAL

FONDO ESCALA (UB): 0, 0, 0, 0

CONFIGURACIÓN SALIDAS: SALIDAS ANALÓGICAS, PENDIENTE RAMPA (0), POLARIDAD Sal. An. (NORMAL)

PARÁMETROS: CARGAR FICHERO, GUARDAR PARÁMETROS

4.11 Configuración

- **Límites:** Para cada canal de entrada analógica se definen los límites de alarma y de aborto superior e inferior. Los límites se introducen en unidades de ingeniería y tienen efecto cuando se trabaja en el área de ensayo. Si el nivel de la entrada correspondiente supera los límites de alarma que aquí se definen se activará un Led de aviso indicando qué señal ha provocado la alarma y si se ha excedido el límite superior o inferior (estos leds se encuentran en la ventana de ensayo). Si la señal de entrada alcanza uno de los límites de aborto definidos aquí por el usuario, el sistema mantendrá como valor de consigna para la señal que lo ha provocado el feedback del sensor asociado y mostrará por pantalla un mensaje al usuario indicando que se ha abortado la secuencia en curso.

Desde este momento sólo quedará habilitado el botón POSITIVO o NEGATIVO (en función del límite de aborto alcanzado, por ejemplo si se alcanza el superior sólo es posible llevarlo en modo manual a una posición dentro de rango mediante NEGATIVO), y el resto de botones queda deshabilitado hasta que se lleve en modo manual a una posición comprendida entre los límites de alarma.

Al igual que con los límites de alarma, los de aborto se definen aquí pero sólo tienen efecto cuando se trabaja en desde el área de ensayo

La siguiente tabla muestra las acciones que tienen lugar cuando ocurre uno de estos eventos con control en desplazamiento:

MODO FUNCIONAMIENTO	LÍMITE EXCEDIDO	ACCIÓN	INDICADOR	SALIDA DE REFERENCIA
LOCAL	ALARMA	NINGUNA	LED	-
	ABORTO	MANTENER POSICIÓN	MENSAJE	FEEDBACK LVDT
REMOTO	ALARMA	NINGUNA	LED	-
	ABORTO	CONMUTAR A MODO LOCAL Y MANTENER POSICIÓN	MENSAJE	FEEDBACK LVDT

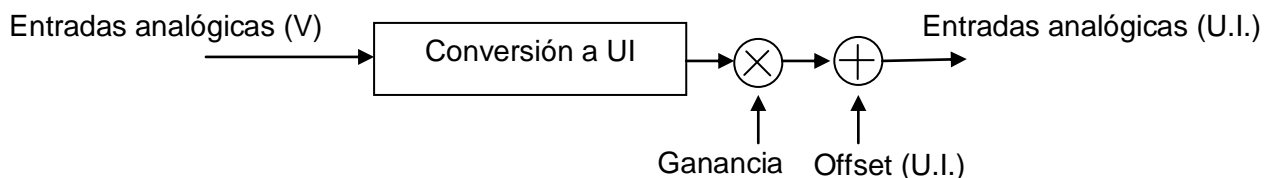
#### 4.1 Acciones de control

- *Configuración entrada:* Se definen para cada entrada analógica los valores de ganancia y offset de señal, así como su polaridad (Normal o invertida).

La ganancia es adimensional, actúa directamente sobre las lecturas de las señales de entradas analógicas una vez que se han convertido a unidades de ingeniería como un factor de multiplicación.

El offset se debe introducir en unidades de ingeniería.

Polaridad normal significa que la lectura del canal de entrada analógica se procesa tal y como llega del acondicionador, mientras que invertida supone un cambio de signo de la entrada.





Para las entradas analógicas libres se define el campo FONDO ESCALA (U.I.), de forma que se introduciría aquí el valor de fondo de escala de la señal acondicionada del sensor que se quiera conectar. Esto permite la conversión a unidades de ingeniería para la visualización de la señal proporcionada por el sensor conectado.

- *Configuración salida.* Las salidas están dedicadas exclusivamente para la generación de comandos.

Se define para la salida de comando desplazamiento la pendiente de señal en unidades de ingeniería por segundo y la polaridad (Normal o invertida).

Esta pendiente será la velocidad con que la consigna alcanza su valor final en forma de rampa, cuando se trabaja desde el área de ensayo, en modo local y manual o bien en generador de ondas en modo rampa.

La polaridad de las salidas se define igual que para las entradas.

-*Contraseña:* Permite cambiar la contraseña de acceso al módulo de mantenimiento. Se requiere la contraseña actual y se debe introducir la contraseña nueva por duplicado por seguridad. Pinchando Aceptar se aplican los cambios de contraseña y Borrar borra todos los campos.

-*Parámetros:* Permite la gestión de los ficheros de parámetros, su visualización y modificación de los diferentes campos del fichero de configuración cargado actualmente en memoria.

*Cargar fichero:* Se puede cargar otro fichero de parámetros pinchando este botón. Una vez que se selecciona el fichero deseado se actualizan los campos de la ventana CONFIGURACIÓN y se pueden modificar.

*Guardar fichero:* Salva el fichero de parámetros actual en el directorio que se seleccione.

*Parámetros guardados:* Pinchando este botón se abre una ventana con los parámetros actuales para su visualización.

***** PARAMETROS GENERALES*****	
Sensibilidad célula de carga (mV/V)	
***** LÍMITES DEL SISTEMA *****	
Límite superior fuerza (kN)	23
Límite superior desplazamiento (mm)	72
Límite inferior fuerza (kN)	-23
Límite inferior desplazamiento (mm)	-72
Límite sup. abortar fuerza (kN)	25
Límite sup. abortar desplazamiento (mm)	75
Límite inf. abortar fuerza (kN)	-25
Límite inf. abortar desplazamiento (mm)	-75
***** CONFIGURACIÓN ENTRADAS *****	
Ganancia canal fuerza	1
Ganancia canal desplazamiento	1
Ganancia Comando de salida (V)	1
Offset canal fuerza	0
Offset canal desplazamiento	0
Offset canal Comando de salida (V)	0
***** CONFIGURACIÓN SALIDAS *****	
Pendiente comando Desplazamiento (mm/s)	5
Polaridad AO Fuerza	Positiva
Polaridad AO Desplazamiento	Negativa
Polaridad AI Fuerza	Positiva
Polaridad AI Desplazamiento	Negativa
Polaridad AI Comando de salida (V)	Negativa
***** LÍMITES DEL CILINDRO *****	
Longitud de carrera (mm)	150
Fuerza máxima (kN)	25
***** SALIDAS ANALÓGICAS *****	
Vmax (V)	10
Vmin (V)	-10

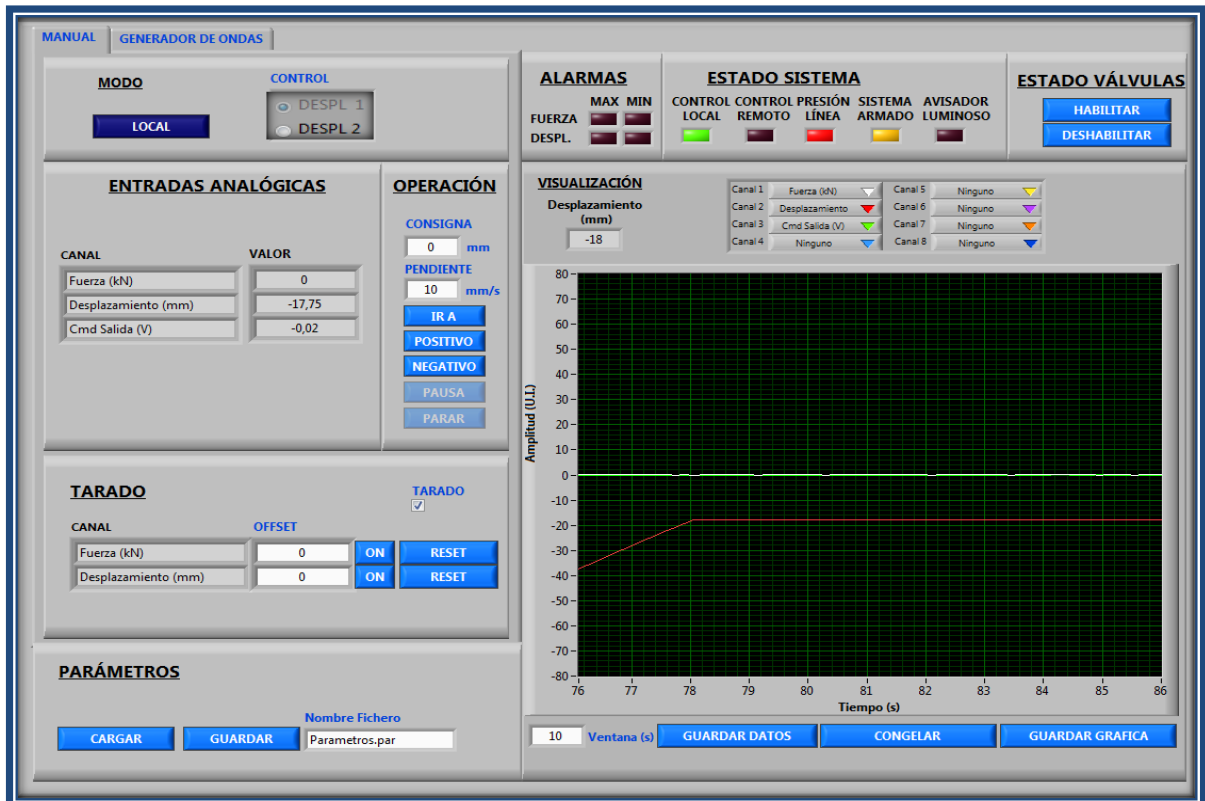
#### 4.2 Parámetros del sistema

Se han invertido la entrada y salida de desplazamiento para cumplir con el convenio de signos dictado por el cliente, siendo movimiento positivo del cilindro hacia abajo y movimiento negativo del cilindro hacia arriba.

El comando de salida (Señal de referencia) se ha invertido únicamente por motivo de visualización de la grafica para que este en concordancia con la entrada del LVDT.

## • ENSAYO

Desde el área de ensayo el usuario puede seleccionar el modo de control (Local o Remoto) y habilitar así el envío de señales de referencia para el servocontrolador que se hayan definido mediante la tarjeta generadora de comandos (Local) o desde el controlador externo (Remoto).

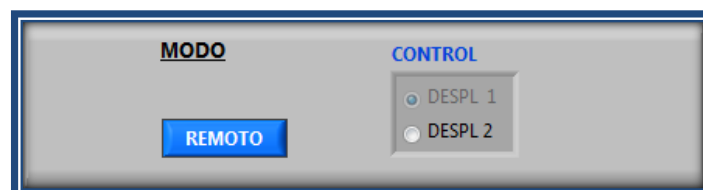


4.12 Pantalla de ensayo

## • MANUAL

Habilita la generación de comandos para el control en desplazamiento en modo manual, la generación se lleva a cabo por la tarjeta PCI. El modo manual permite la generación de rampas desde la tarjeta generadora de comandos, así como el tarado de las entradas analógicas.

## - MODO



4.13 Modo funcionamiento: Local/ Remoto

El Control permite seleccionar entre dos cilindros, en este proyecto uno de los cilindros permanece deshabilitado ya que en la instalación se hace uso de uno solamente pero en el caso de ser necesario integrar en el sistema un segundo cilindro no habría ningún inconveniente puesto que la aplicación se ha desarrollado para el control de dos cilindros.

REMOTO/LOCAL habilita la tarjeta generadora (LOCAL) o el controlador externo (REMOTO) para la generación de comandos. Si se fija el modo remoto todos los controles del modo manual quedan deshabilitados.

Por defecto al entrar en el área de ensayo la aplicación comienza en modo manual con generación local.

Cuando se conmuta al modo remoto, el programa comprueba si la señal de consigna de desplazamiento (Cmd despl.) está en cero, si no es así antes de conmutar permanece en Local y envía una señal de comando de rampa a cero con el valor de pendiente que se haya definido en el campo Pendiente (mm/s).

Una vez que el feedback ha alcanzado este valor tiene lugar la conmutación al modo remoto. Durante este tiempo, todos los controles quedan deshabilitados.



ENTRADAS ANALÓGICAS	
CANAL	VALOR
Fuerza (kN)	-0,2
Desplazamiento (mm)	0
Cmd Salida (V)	0,1

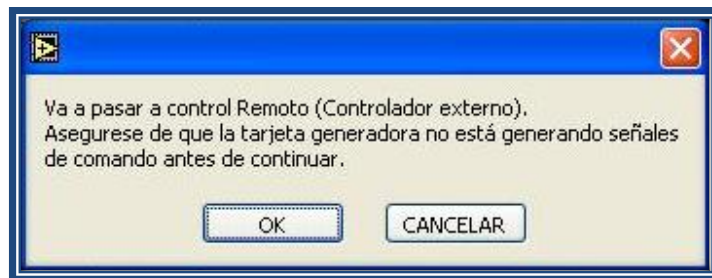
  

TARADO		
CANAL	OFFSET	CERO
Fuerza (kN)	0	OFF
Desplazamiento (mm)	0	OFF

4.14 Modo manual

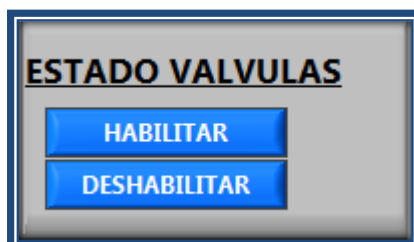
Si se conmuta de modo remoto a local, la aplicación lee el feedback de desplazamiento y fija la consigna a ese valor para evitar transitorios.

Siempre que se intente pasar de un modo a otro aparecerá en pantalla la siguiente ventana de confirmación:



4.15 Mensaje de confirmación para cambiar el modo de trabajo

#### - ESTADO DE LAS VALVULAS



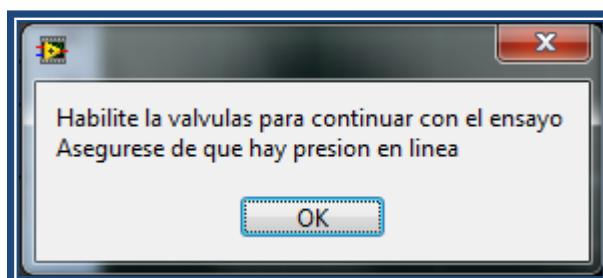
4.16 Selector de las electroválvulas

Estos controles habilitan o deshabilitan las válvulas de descarga y de bloqueo del bloque de acumuladores. Cuando se Inicia el ensayo todos los controles están deshabilitados a la espera de energizar las válvulas (si durante el ensayo se deshabilitan las válvulas los controles del modo manual quedan deshabilitados).

La Habilitación solo es posible si se ha recibido previamente la señal de OK de la central hidráulica y el sistema está armado.

Para pasar a modo remoto es necesario habilitar las válvulas en modo manual y solo se pueden deshabilitar del mismo modo, es decir, estando en modo remoto no podemos deshabilitar las válvulas, debemos cambiar a modo manual y deshabilitarlas.

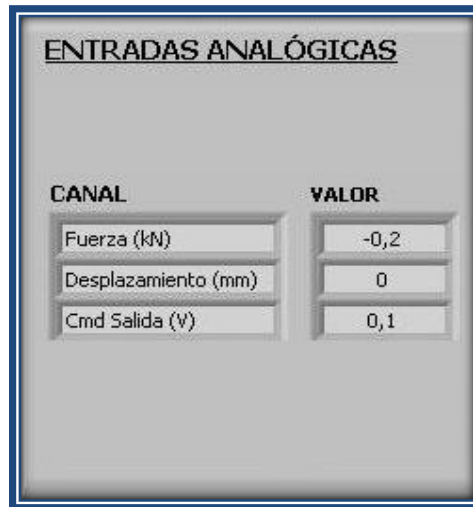
Al pulsar una seta de emergencia las válvulas se deshabilitan automáticamente manteniéndose así hasta que el sistema quede armado de nuevo, una vez liberada se mostrara el siguiente mensaje:



4.17 Mensaje de acción



## - ENTRADAS ANALÓGICAS

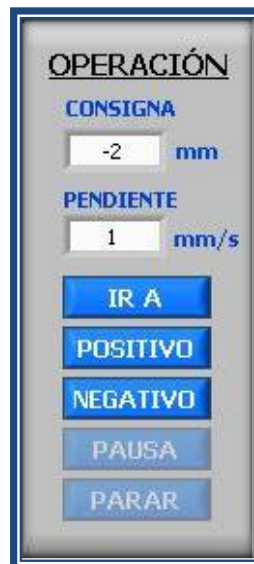


CANAL	VALOR
Fuerza (kN)	-0,2
Desplazamiento (mm)	0
Cmd Salida (V)	0,1

4.18 Indicador de las entradas analógicas

Permite la visualización de las señales analógicas de entrada para cada canal (Fuerza, desplazamiento y comando de salida,) en U.I.

## - OPERACIÓN



**OPERACIÓN**

**CONSIGNA**  
-2 mm

**PENDIENTE**  
1 mm/s

IR A  
POSITIVO  
NEGATIVO  
PAUSA  
PARAR

4.19 Operación en modo manual


- *Consigna* – Es el valor deseado de comando en mm. La señal de salida del comando desplazamiento se actualizará a este valor en forma de rampa con la pendiente introducida en la configuración de las salidas analógicas (Mantenimiento) o bien con el valor que se introduzca en el campo Pendiente. La señal de comando no se actualiza hasta que se pulsa el botón IR A.



- *Pendiente* – Es la pendiente de la rampa de señal de comando desplazamiento en milímetros por segundo, esto es, la velocidad de comando. Ésta velocidad está limitada a 20 mm/s.
- *IR A* -- Inicia la generación de comando para el desplazamiento, de forma que se envía una señal de referencia en rampa hasta el valor de consigna con la pendiente que se haya definido. Cuando se pulsa este botón, sólo quedan habilitados los botones de PAUSAR y PARAR, y no es posible realizar un tarado hasta que se haya alcanzado la consigna. En ese momento volverán a habilitarse IR A, POSITIVO Y NEGATIVO, y quedarán deshabilitados PAUSAR y PARAR.
- *POSITIVO* -- Incrementa el valor de la salida del comando desplazamiento mientras se mantiene pulsado. En consigna aparecerá el valor hacia el que se incrementa como máximo, que será la carrera máxima del cilindro (75 mm). La señal de comando será una rampa que irá aumentando su amplitud mientras el botón esté pulsado, con la pendiente que haya definido el usuario.
- *NEGATIVO* -- Decrementa el valor de la salida del comando desplazamiento mientras se mantiene pulsado. En consigna aparecerá el valor hacia el que se decrementa como máximo, que será la carrera mínima del cilindro (-75 mm). La señal de comando será una rampa que irá aumentando su amplitud en sentido negativo mientras el botón esté pulsado, con la pendiente que haya definido el usuario.
- *PAUSAR* -- Detiene la generación hasta que se vuelva a pulsar, manteniendo el comando en el valor en que se encontrase al pulsar este botón. Se permite cambiar el valor de consigna y pendiente mientras la generación está pausada. Sólo queda habilitado el botón PARAR, que en caso de pulsarse acabaría la pausa y llevaría a cabo la acción de parada.
- *PARAR* -- Aborta la secuencia actual y lleva la señal de comando desplazamiento al Offset definido para la entrada analógica Desplazamiento (mm). La parada se realiza en forma de rampa con la pendiente que se haya fijado en el parámetro PENDIENTE.

PAUSAR y PARAR sólo están habilitados durante la generación de la rampa.

- TARADO



4.20 Operación de Tarado

Permite hacer el tarado de las entradas analógicas correspondientes al feedback de fuerza y desplazamiento. Solo es posible realizarlo si está en modo local y no se está generando comando (el vástago está en movimiento).

Solo se permite hacer un tarado en una misma serie de movimiento, por lo que al realizar un tarado ya se de fuerza o desplazamiento, el botón correspondiente se pondrá en grey out hasta que se pulse el botón de Reset correspondiente.

- Tarado -- Habilita los controles de tarado se pincha este check box.
- CANAL -- Entrada sobre la que aplica el tarado (fuerza o desplazamiento).
- OFFSET -- Offset aplicado a la señal de entrada correspondiente.
- ON -- Realiza un auto cero de la señal de entrada y muestra en Offset el valor de cero de la señal.
- RESET--Elimina el offset introducido por el auto cero.

- GENERADOR DE ONDAS

El generador de ondas permite al usuario enviar directamente señales cíclicas de control (formas de onda) y rampa al actuador, para realizar tareas de tuneado ó tuning, calibración y diagnóstico. Para cualquier movimiento es necesario haber habilitado las válvulas por lo que, mientras no se haya realizado la habilitación, todos los controles permanecerán deshabilitados.



4.21 Generador de ondas

- REFERENCIA

Referencia -- Especifica el tipo de señal de consigna. Puede ser Rampa u Onda. Siempre que se estén generando señales de referencia en modo generador de ondas la generación manual estará deshabilitada.

En función de la selección de referencia se visualizará:

- Generador de rampa

Define una señal en rampa como consigna. El funcionamiento es semejante al de generación de rampa en modo manual.

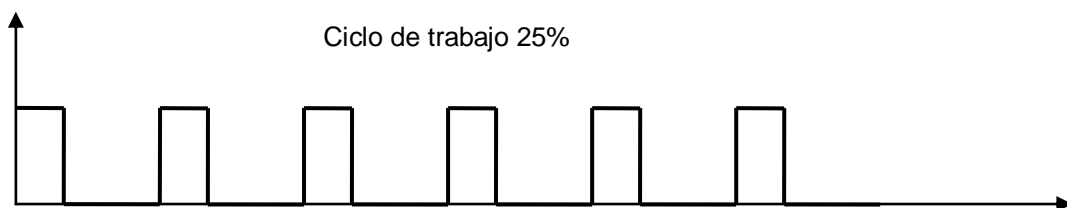
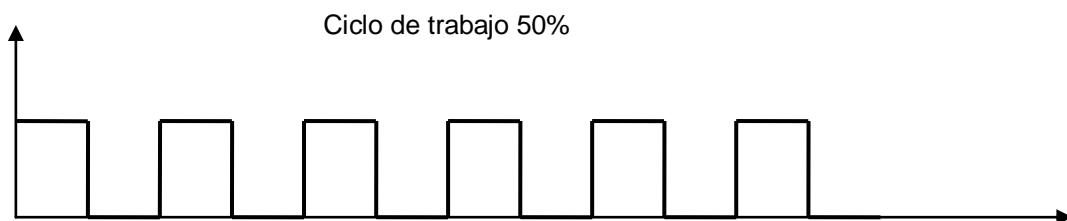
- Valor -- valor final de la rampa en unidades de ingeniería.
- Pendiente -- Pendiente de la rampa en mm/s.

➤ Generador de onda



4.22 Generador de onda

- Señal -- Tipo de señal de referencia (Seno, triangular, cuadrada o diente de sierra).
- Frecuencia
- -- Frecuencia en Hz deseada de la señal de referencia. La máxima frecuencia es de 40 Hz.
- Amplitud -- Amplitud en mm de la señal de referencia.
- Offset-- Offset en mm de señal de referencia.
- Ciclo de trabajo (%) -- Ciclo de trabajo para la señal cuadrada. Este campo sólo aparecerá al seleccionar la señal cuadrada como señal de referencia y se refiere al porcentaje del periodo en el cual la señal está a nivel alto.





4.23 Generador de onda cuadrada

- Periodos visualizados -- En este control debe introducirse el número de periodos de la señal que se quiere ver en la gráfica.
- Modulación -- Permite seleccionar la velocidad con que la onda alcanza el valor de amplitud final (el introducido en Amplitud) cuando se pulsa Iniciar, y la velocidad con que volverá a amplitud cero en la posición dada por el offset introducido cuando se pulsa Parar. La forma de onda crecerá o decrecerá progresivamente hacia esos valores a la velocidad elegida (Baja, Media o Alta).



- Iniciar -- Inicia progresivamente la generación de comando desplazamiento.
- Pausar -- Detiene la generación hasta que se vuelva a pulsar Pausar o Parar. Si se pausa la generación el botón iniciar está deshabilitado, si se quiere continuar la generación volver a pulsar Pausar, que estará parpadeando. Sólo es posible pausar la generación si la frecuencia de la señal de referencia es menor o igual a 2 Hz, para frecuencias mayores el botón estará deshabilitado para evitar las inercias que puedan aparecer a frecuencias mayores debidas a una detención brusca de la generación.
- Parar -- Detiene la generación y lleva la señal de referencia a offset de forma progresiva a la velocidad que se haya indicado en Parada. Es posible parar la generación mientras esta está pausada, pero su efecto no tendrá lugar hasta que se desactive la pausa (se le indica al usuario con un mensaje).

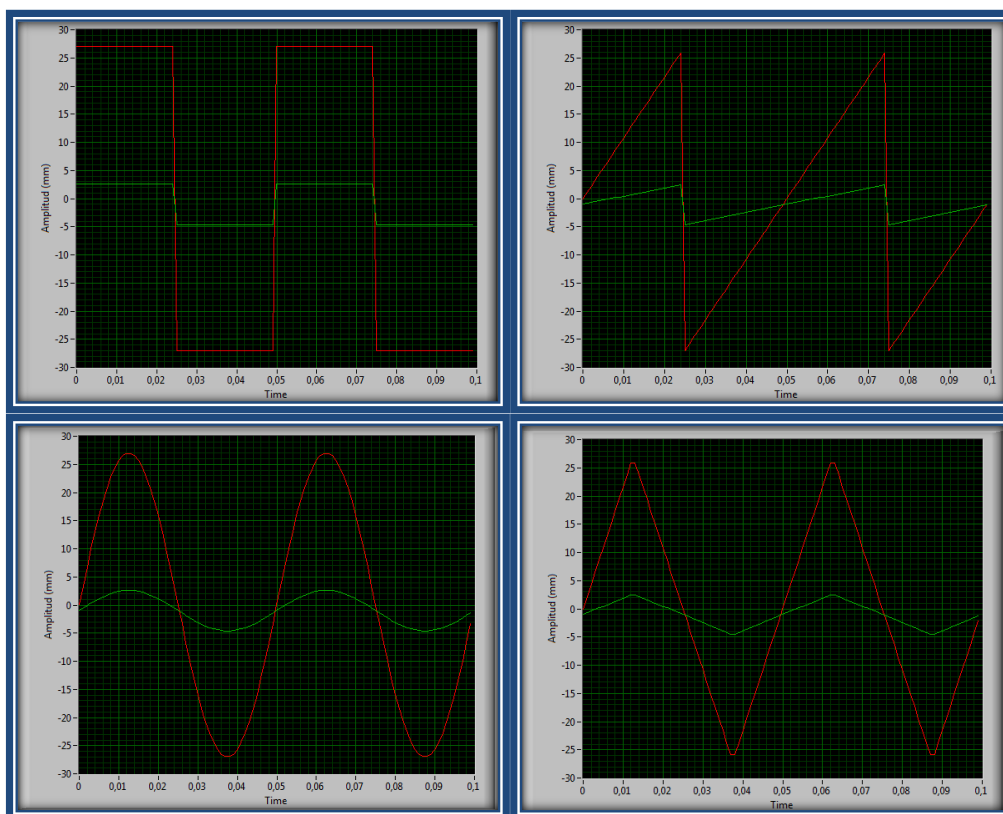
Parar y Pausar estarán deshabilitados si no se está generando señal de referencia, es decir, si no se ha pulsado Iniciar.

Cuando se pasa de modo generador de rampa a modo generador de ondas, se actualiza el valor de Offset a la posición actual de la LVDT del cilindro, de forma que al iniciar la generación de formas de onda no haya oscilaciones transitorias al comenzar.

Del mismo modo, si se modifica el valor del offset, la aplicación mueve el vástago hasta esa posición y no permite iniciar la generación hasta que ha llegado a ese punto.

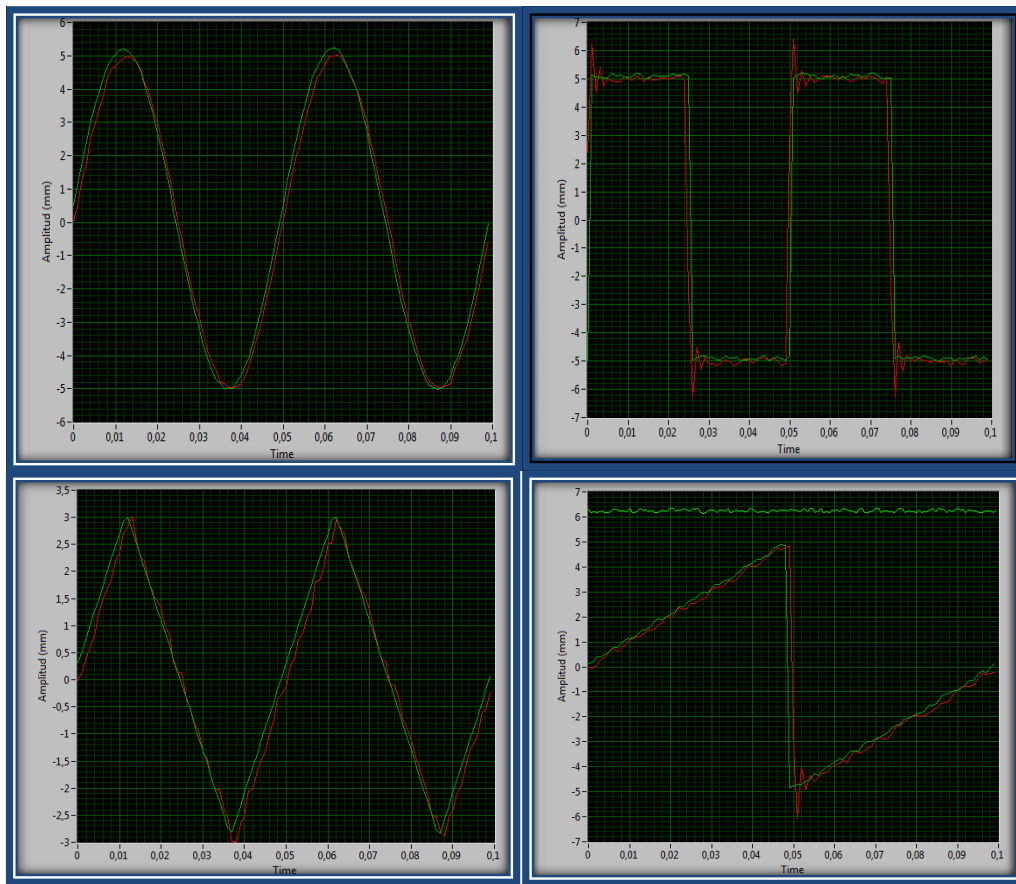
A continuación se muestran en las figuras 4.24 y 4.25 los diferentes tipos de onda. Se muestra una generación ideal en la que se ha realimentado la entrada correspondiente al sensor LVDT con la salida de referencia para comprobar que el sistema genera las ondas requeridas, consiguiendo una generación sin ruido y una generación real con todo el sistema conectado en la que se aprecia pequeños niveles de ruido, en torno a  $\pm 0,1$  mm

➤ *Generación ideal*



4.24 Generación ideal

➤ *Generación Real*



4.25 Generación real

El ruido esta en torno a  $\pm 0,1$  mm que suponen un error a fondo de escala de 0,13% consiguiendo una señal bastante aceptable.

Para los ensayos en los que se genera onda cuadrada, triangular o diente de sierra es conveniente no generar a altas amplitudes para evitar cambios bruscos en el movimiento que puedan crear inercias peligrosas para el sistema.

- *ALARMAS*



4.26 Indicador de alarmas

Indicadores que se activan cuando las señales de entrada analógica superan los límites definidos en configuración. Es posible ver estos límites dejando el



cursor sobre el led que se quiera consultar, aparecerá un cuadro de texto con el valor cargado.

Si la señal de entrada llega al nivel de aborto y se estaba trabajando en modo remoto, se conmuta a modo local de forma automática, se asigna a la señal de comando correspondiente la lectura del feedback de la señal que provocó el aborto (sólo está implementado para desplazamiento) y se indica al usuario que se ha abortado la generación por exceder los límites de funcionamiento con un mensaje. Si se estaba trabajando en modo local, se asigna el feedback a referencia y se envía al usuario un mensaje de aviso. Sólo quedan habilitados los botones POSITIVO o NEGATIVO para devolver manualmente el vástago a una posición dentro de los límites de funcionamiento permitidos.

- *ESTADO SISTEMA*

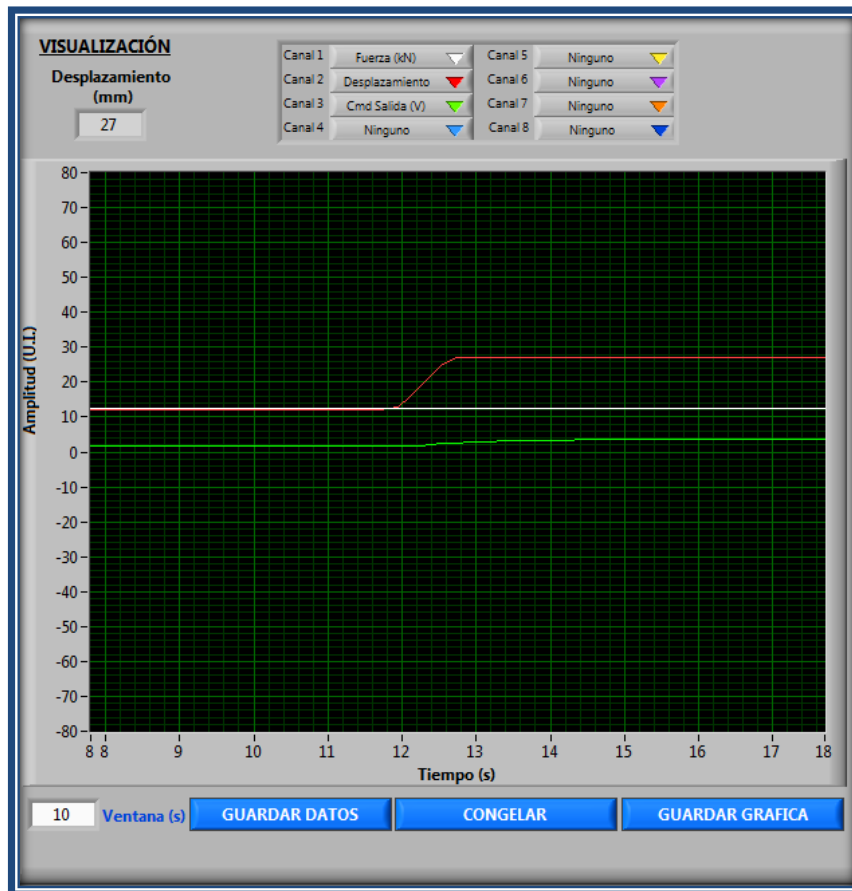


4.27 Indicador de estado del sistema

Indicadores de las entradas digitales utilizadas.

- Control local -- Indica si el sistema está en modo local (led encendido).
- Control remoto -- Indica si el sistema se encuentra en modo remoto (led encendido).
- Presión línea -- Indica el estado de la central hidráulica, si hay presión en la línea este led estará verde. En caso contrario se activa en color rojo. Nótese que si no hay presión de línea, los controles están habilitados pero no se permite generar hasta que haya presión, si se introduce una consigna y se pulsa, por ejemplo, IR A, el programa intentará generar pero al comprobar que no hay presión mantendrá como consigna el valor leído en el feedback de LVDT.
- Sistema Armado -- Indica que el sistema está armado.
- Avisador Luminoso--Este indicador se ilumina cuando el cilindro esta en movimiento

## - VISUALIZACIÓN



4.28 Visualización de señales

Se trata de una monitorización gráfica de las señales de entrada analógica.

- Desplazamiento (mm) -- Indicador numérico de la posición actual del vástago en mm.
- Canal 1. Canal 8 -- Menús desplegables en los que se puede seleccionar las entradas analógicas que se quiere visualizar- En caso de no querer ver una señal seleccionar “Ninguno”.



4.29 Selección de canales para la visualización

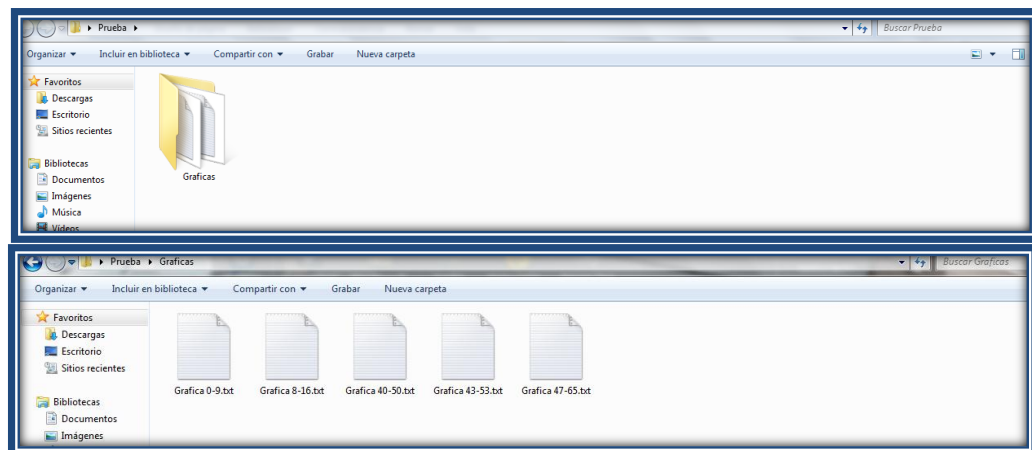
Se han introducido hasta 8 canales en caso de que se quieran introducir

nuevos sensores para monitorización.

- Ventana (s) – Este control sólo aparece cuando se está en modo manual o en generación de ondas en modo rampa, el usuario debe introducir aquí el ancho de ventana gráfica a visualizar, en segundos. En modo generador de ondas, la ventana de tiempo del gráfico viene determinada por el número de periodos a visualizar y la frecuencia de la señal de referencia.



- Guardar Datos -- Guarda los datos del gráfico en el directorio seleccionado, creando automáticamente una carpeta llamada Graficas. Se abre una ventana en la que se indica si se desea una adquisición continua de los datos o una adquisición limitada en tiempo, de ser así, el archivo se guardara con el nombre Grafica i-j.txt, siendo i el tiempo menor y j el tiempo mayor, dentro de la nueva carpeta creada. Si la carpeta Graficas ya existe en el directorio, los nuevos archivos se guardan dentro de dicha carpeta.

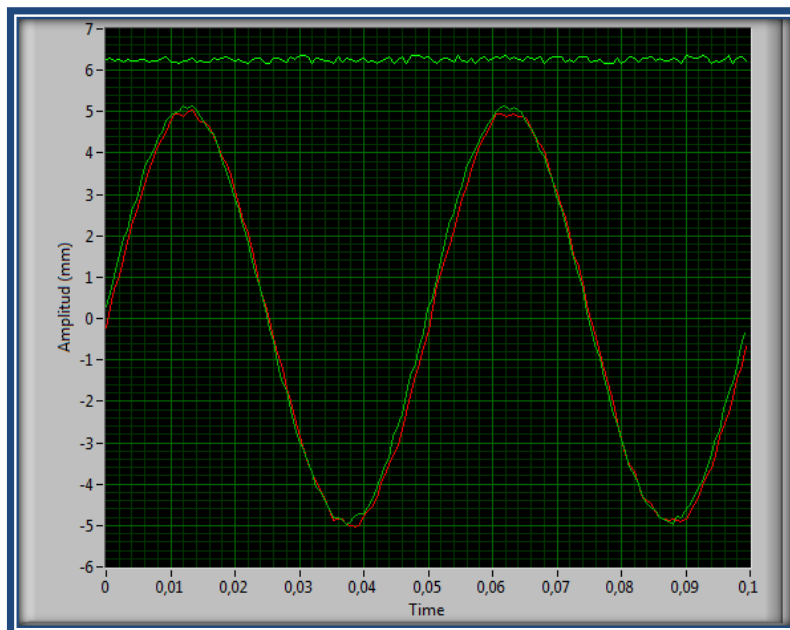


**4.30 Ejemplo de carpeta creada con los datos**

El archivo generado por la aplicación está en formato .txt.

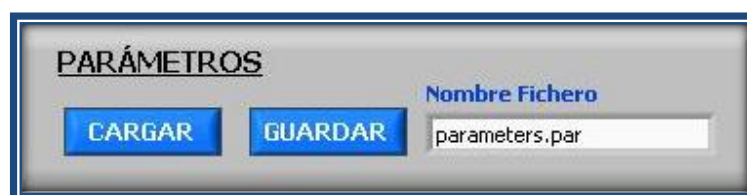
La figura 4.31 corresponde a una generación de onda senoidal con una frecuencia de 20 Hz. Se ha hecho una adquisición de la señal del LVDT convertida a unidades de ingeniería (mm), la señal de referencia que se envía al controlador también en unidades de ingeniería (mm) y la señal de fuerza (KN) que como se puede ver es un valor constante, esto se debe a que los datos se han obtenido con un simulador de célula de carga ya que las pruebas del sistema no se pudieron probar con el sistema de masas acoplado.

La gráfica correspondiente a los datos anteriores se muestra en la siguiente imagen:



4.31 Adquisición de una generación senoidal

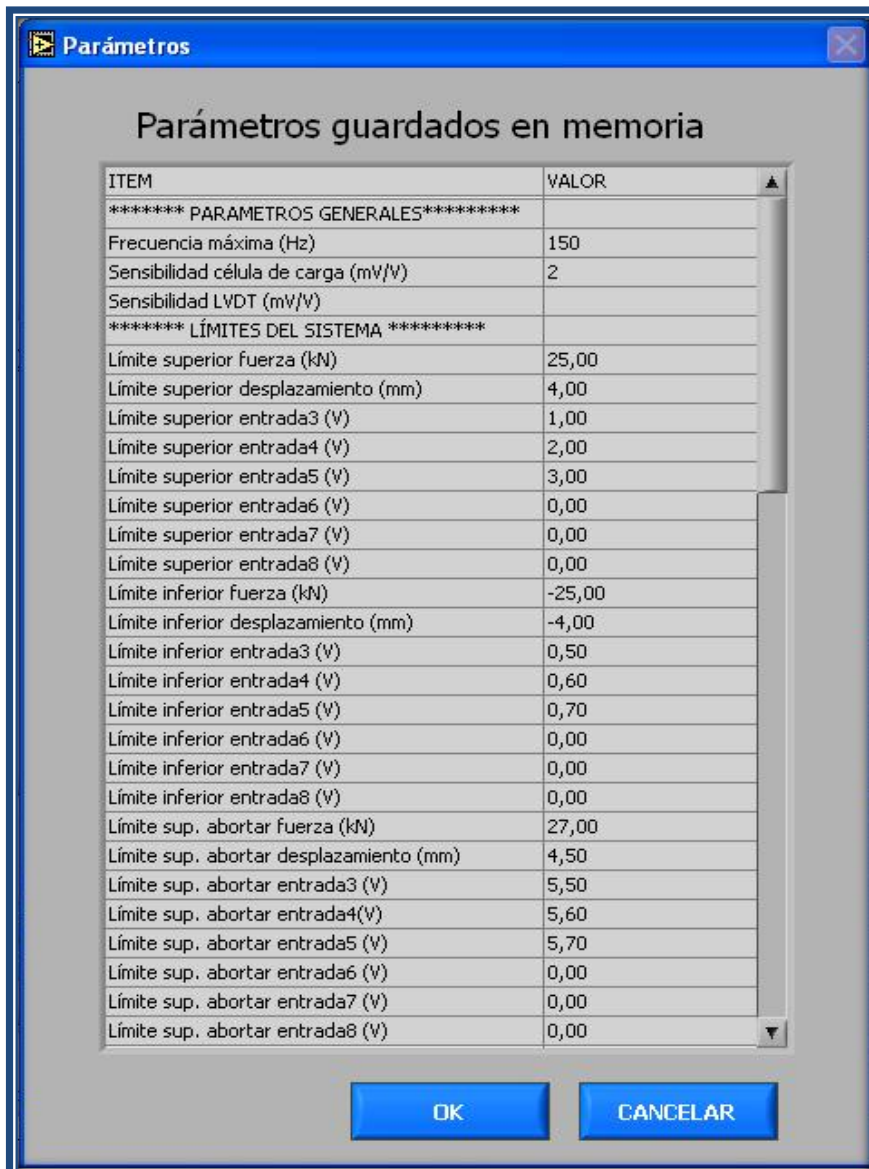
- Congelar -- Pausa la actualización del gráfico mostrando las formas de onda seleccionada, estática hasta que se vuelva a pulsar (Reanudar). Este botón únicamente detiene la visualización, no la generación, es decir cuando se pulse reanudar, la grafica mostrara el punto donde se encuentra la generación.
  - Guardar Gráfica. Guarda la grafica en forma de imagen
- **PARÁMETROS**



4.32 Ventana de parámetros

Permite gestionar los ficheros de parámetros creados.

- Cargar –Carga el archivo de parámetros seleccionado para su visualización.
- Guardar -- Guarda el fichero de parámetros con el que se está trabajando, actualizando los valores de Offset de las entradas analógicas y la pendiente de rampa (mm/s). El resto de parámetros no puede modificarse desde el área de ensayo. Permite al usuario elegir el directorio en el que se creara una carpeta con el nombre parámetros y dentro de ésta una carpeta con el nombre Copia de seguridad. Se guardan los nuevos datos en la carpeta parámetros y se hace una copia de seguridad en la carpeta Copia de seguridad de los parámetros anteriores.



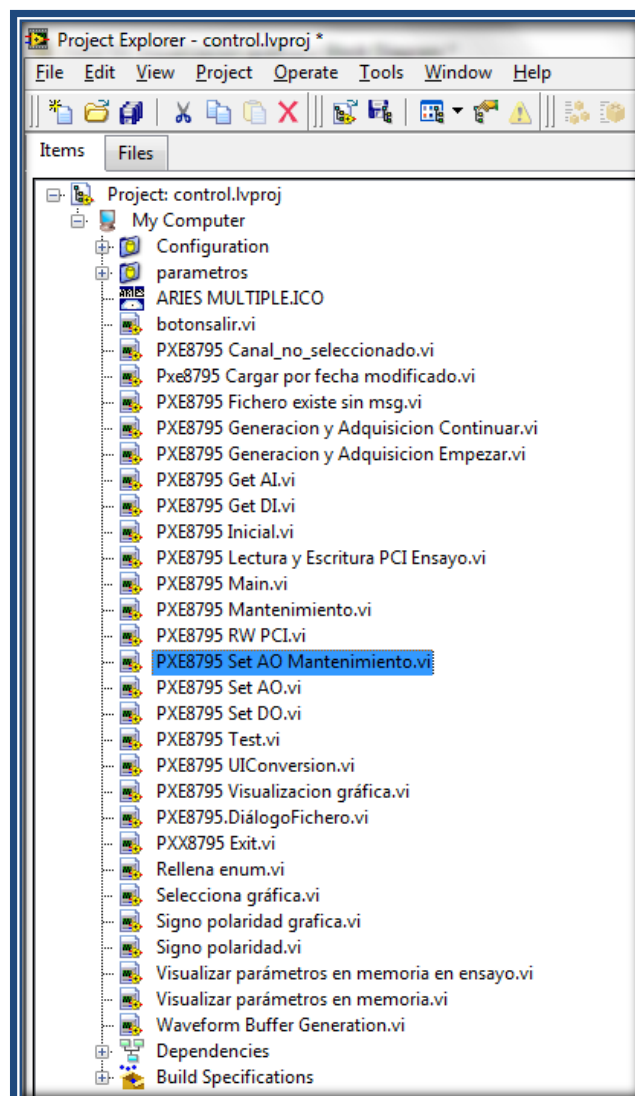
ITEM	VALOR
***** PARAMETROS GENERALES*****	
Frecuencia máxima (Hz)	150
Sensibilidad célula de carga (mV/V)	2
Sensibilidad LVDT (mV/V)	
***** LÍMITES DEL SISTEMA *****	
Límite superior fuerza (kN)	25,00
Límite superior desplazamiento (mm)	4,00
Límite superior entrada3 (V)	1,00
Límite superior entrada4 (V)	2,00
Límite superior entrada5 (V)	3,00
Límite superior entrada6 (V)	0,00
Límite superior entrada7 (V)	0,00
Límite superior entrada8 (V)	0,00
Límite inferior fuerza (kN)	-25,00
Límite inferior desplazamiento (mm)	-4,00
Límite inferior entrada3 (V)	0,50
Límite inferior entrada4 (V)	0,60
Límite inferior entrada5 (V)	0,70
Límite inferior entrada6 (V)	0,00
Límite inferior entrada7 (V)	0,00
Límite inferior entrada8 (V)	0,00
Límite sup. abortar fuerza (kN)	27,00
Límite sup. abortar desplazamiento (mm)	4,50
Límite sup. abortar entrada3 (V)	5,50
Límite sup. abortar entrada4 (V)	5,60
Límite sup. abortar entrada5 (V)	5,70
Límite sup. abortar entrada6 (V)	0,00
Límite sup. abortar entrada7 (V)	0,00
Límite sup. abortar entrada8 (V)	0,00

4.33 Visualización de parámetros

### 4.2.3 Gestión del proyecto Software

El proyecto consiste en un fichero en formato XML y con extensión \*.LVPROJ que indica que ficheros componen el proyecto y como se ordenan. Los ficheros que componen el proyecto pueden ser VIs, controles, ficheros de configuración (por ejemplo para crear un ejecutable), documentación o cualquier otro fichero.

La ventana desde la que se gestiona el proyecto se llama Project Explorer y muestra el aspecto de la ilustración. Además se pueden ver todas las VIs que se han creado para este proyecto



4.34 Project Explorer de Labview 10



Los ficheros se pueden agrupar en directorios. Para organizar el código también puede ser útil emplear librerías. En el contexto de un proyecto estas librerías no deben confundirse ficheros LLB ya que simplemente es otro fichero XML con referencias a los ficheros contenidos y la descripción de sus propiedades. Dentro de las librerías los elementos pueden ser públicos (accesible desde otras partes del proyecto) o privados (accesibles desde otros VIs de la misma librería), esto es útil para distribuir código entre distintos programadores. Para definir los elementos públicos o privados hay que acceder a las propiedades de la librería desplegando su menú contextual > Properties > Setting items

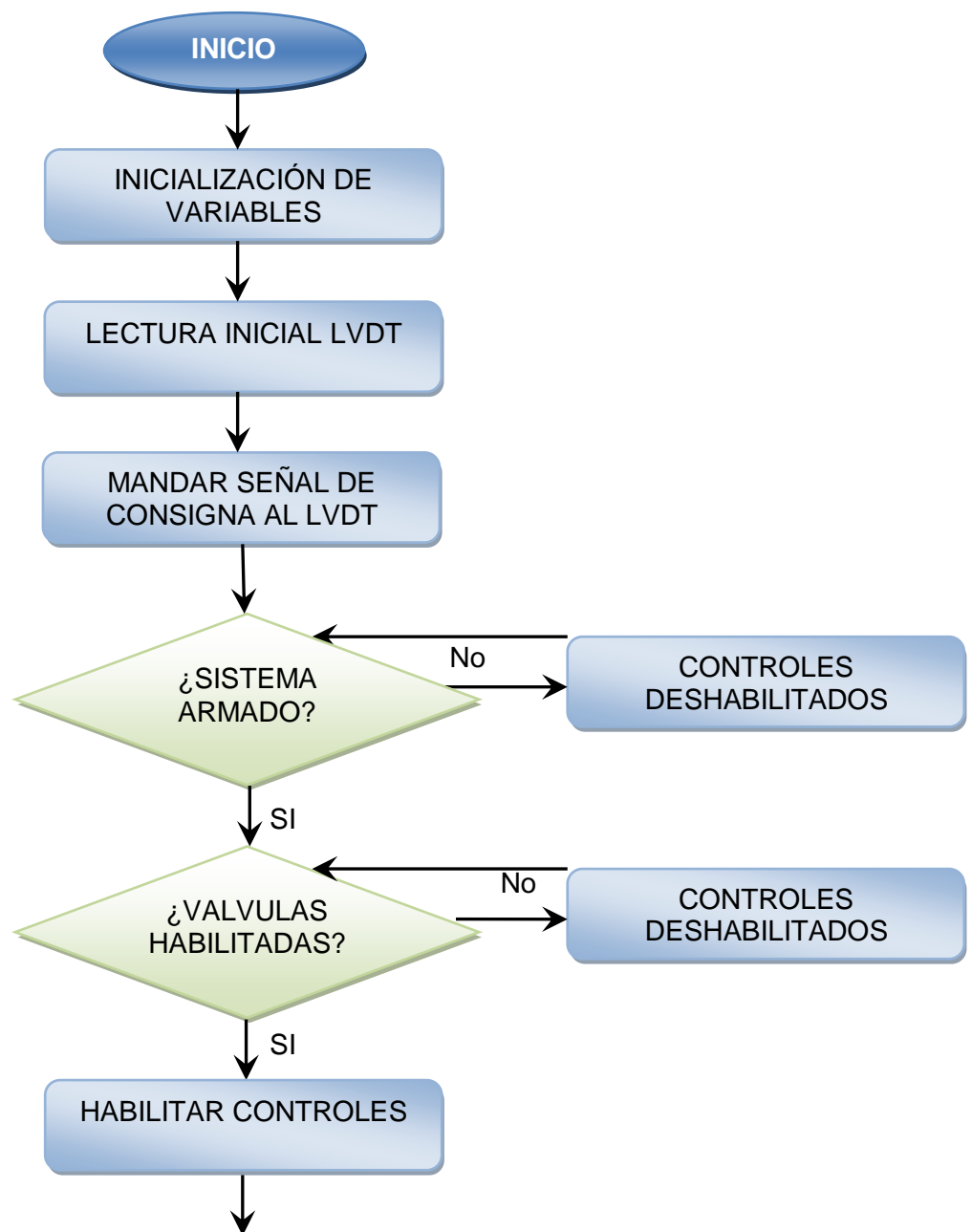
La ventana del proyecto se divide inicialmente en tres ítems:

- *My Computer*: es el target, en él se muestran los ficheros que componen el proyecto y sus propiedades. De cada target descienden Dependencies y Build Specifications.
- *Dependencies*: muestra las dependencias del proyecto, por ejemplo librerías compartidas.
- *Build Specifications*: guarda la configuración para las distribuciones del proyecto como archivos comprimidos, ejecutables, librerías, instaladores, etc.

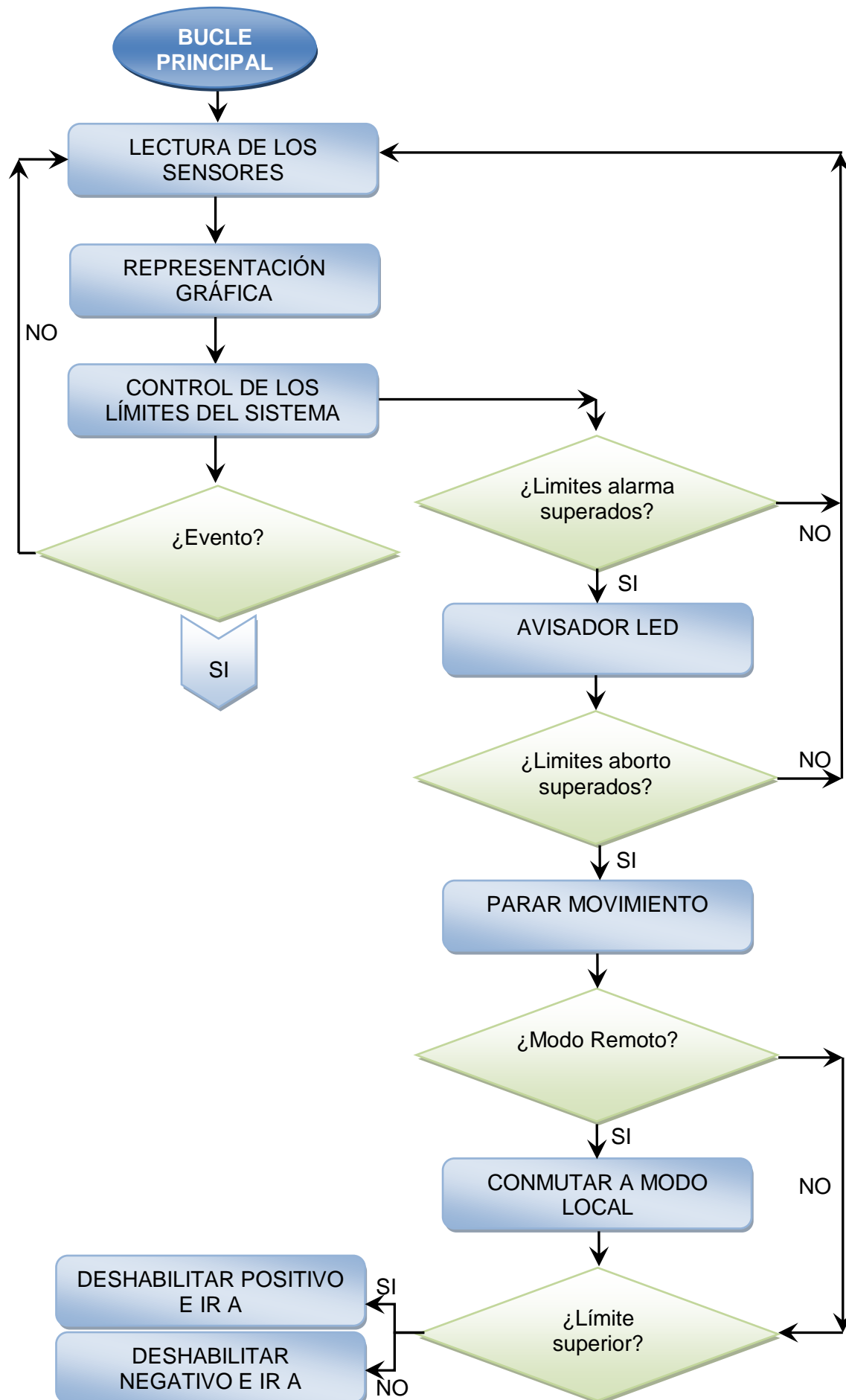
#### 4.2.4 Diagrama de Estados

En primer lugar el programa cuenta con una secuencia de inicialización de todas las variables del programa. Leemos la señal del LVDT inicialmente y se envía como consigna al PID el valor de comando correspondiente a ese punto para evitar saltos bruscos al iniciar el programa. Posteriormente se mantiene a la espera de la señal de Sistema Armado.

Armado el sistema se necesita que se habiliten las electroválvulas para habilitar todos los controles, de no ser así se mantendrán deshabilitados.







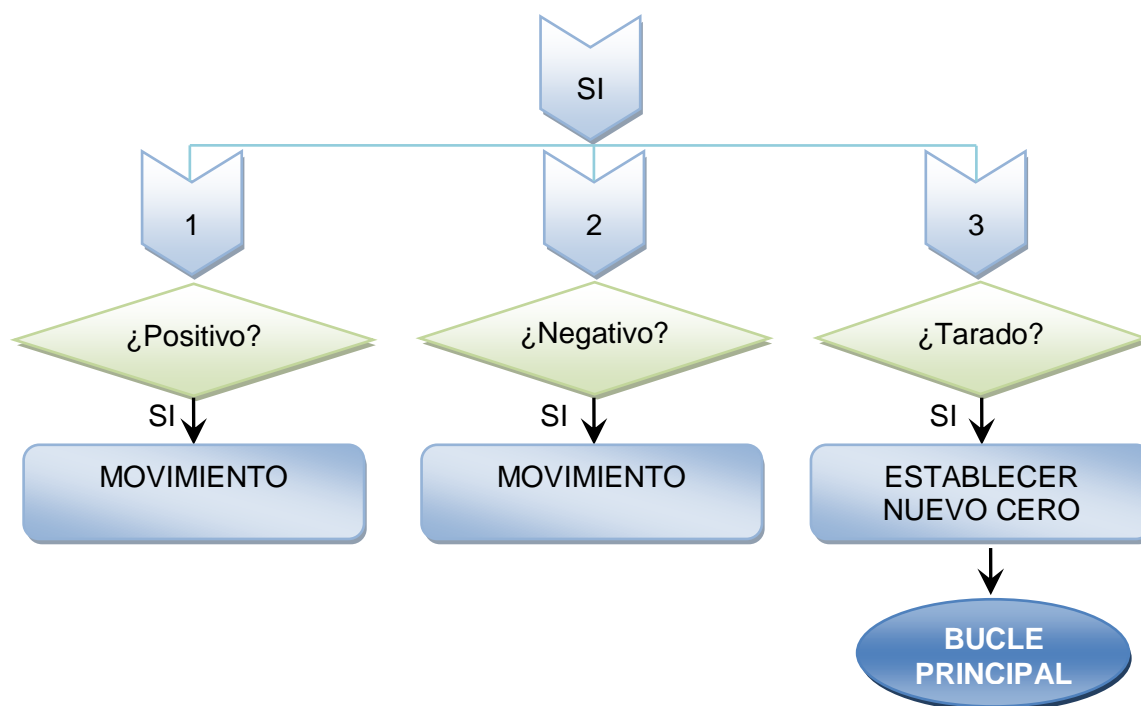
En el flujo anterior encontramos el funcionamiento natural del programa de *Ensayos* que se ejecuta en todo momento siempre que no se produzcan eventos, en cuyo caso se saldrá para realizar las acciones correspondientes. Si estos eventos conllevan movimientos estos se realizarán paralelamente al bucle principal por lo que no se interrumpirán las tareas principales.

En cada ciclo se realiza las tareas de lectura de las señales analógicas y digitales, representación gráfica de las señales, control de los límites y de las seguridades.

En caso de superar los límites tenemos dos casos distinguidos como se explica en la sección de *Interfaz de Usuario*.

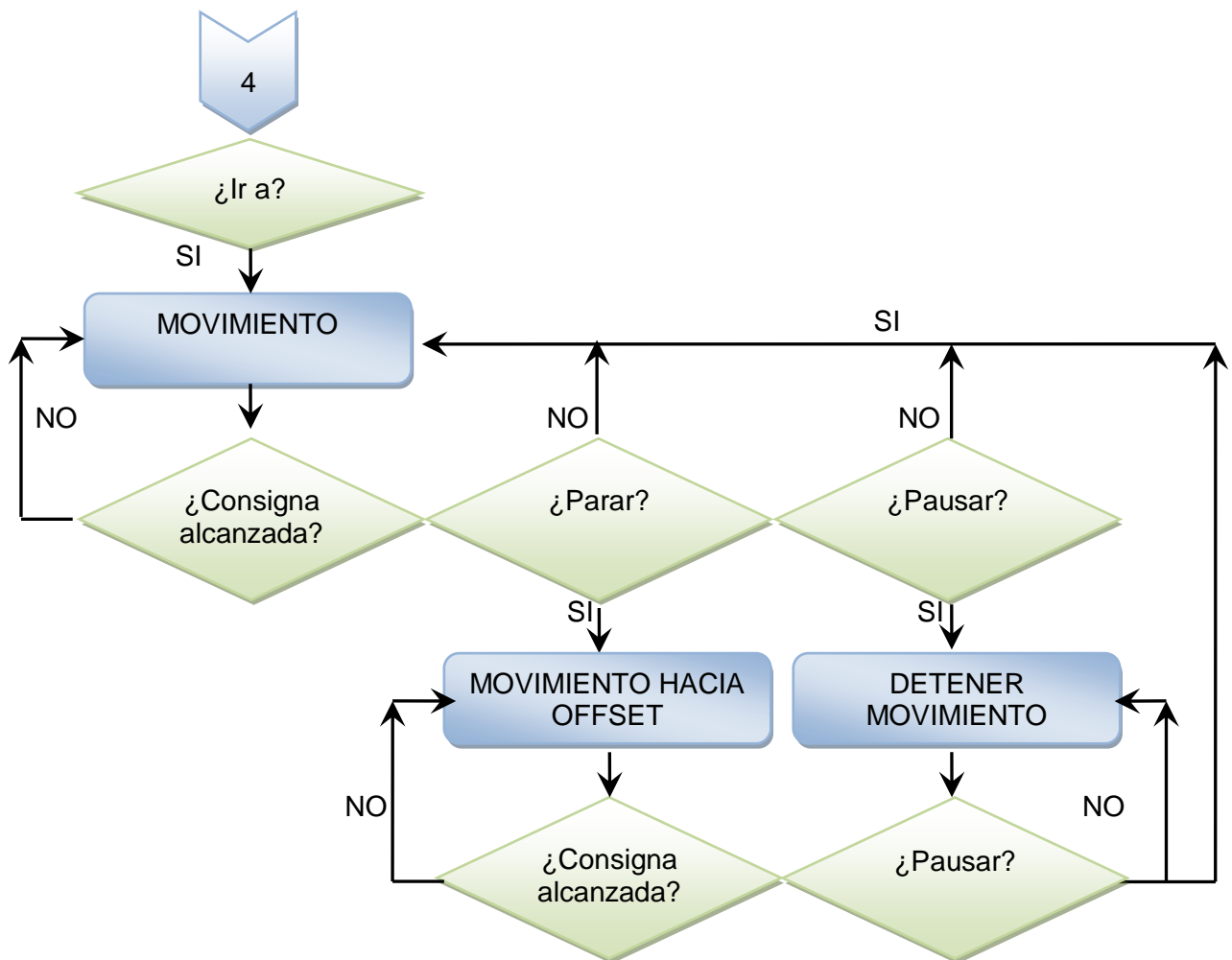
- Si se superan los llamados Límites de alarma únicamente se iluminará un Led de la ventana de ensayos como indicativo de que se han superado dichos límites, tanto para desplazamiento como para fuerza.
- Si se superan los límites de aborto se produce la detención del cilindro y el sistema mantendrá como valor de consigna para la señal que lo ha provocado el feedback del sensor asociado y mostrará por pantalla un mensaje al usuario indicando que se ha abortado la secuencia en curso. Desde este momento sólo quedará habilitado el botón POSITIVO o NEGATIVO (en función del límite de aborto alcanzado, por ejemplo si se alcanza el superior sólo es posible llevarlo en modo manual a una posición dentro de rango mediante NEGATIVO), y el resto de botones queda deshabilitado hasta que se lleve en modo manual a una posición comprendida entre los límites establecidos.

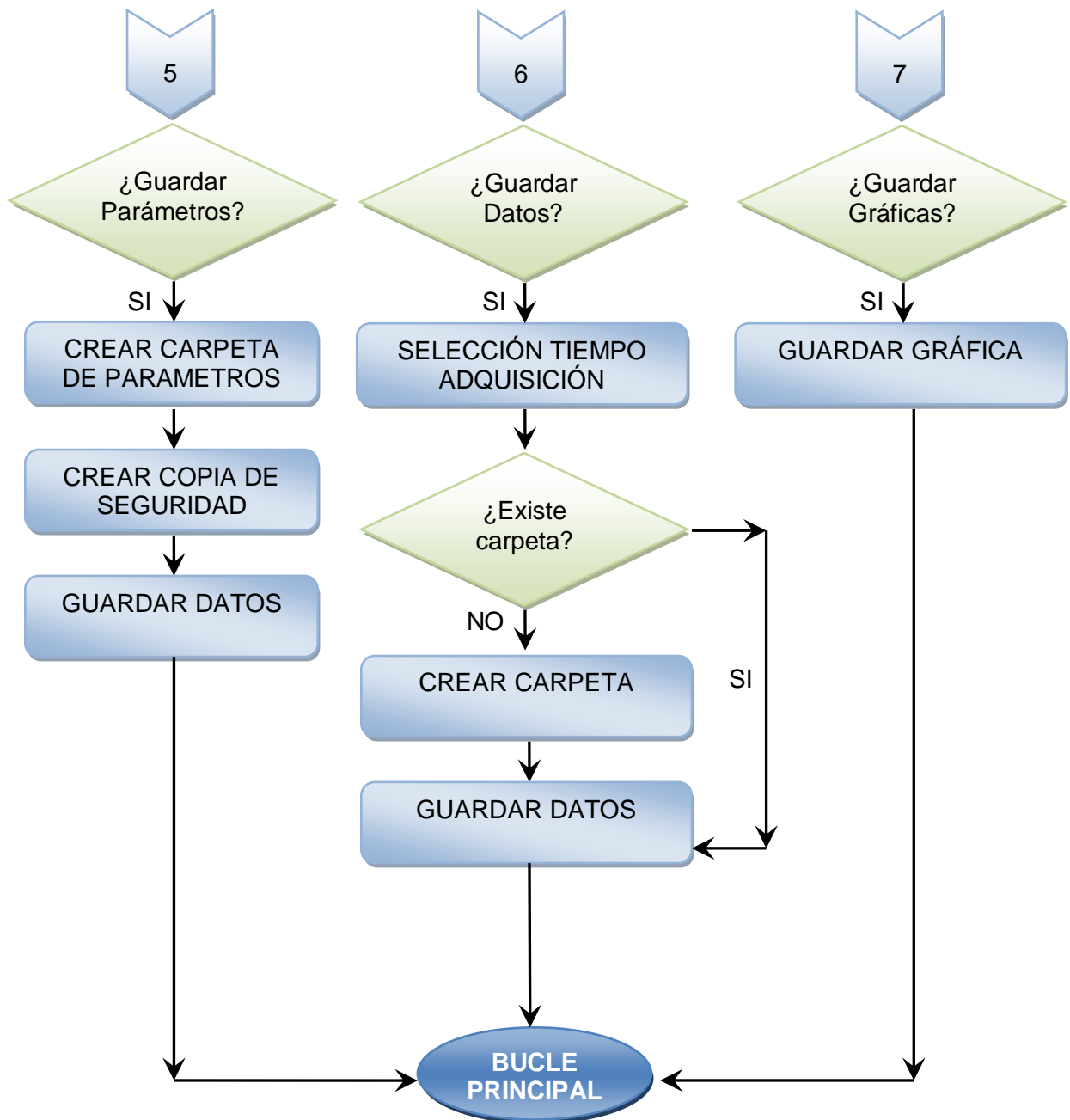
A continuación se ven todos los eventos que se pueden encontrar:



Este evento generara movimiento hasta que se llegue al valor de consigna definido por el usuario. Durante el movimiento podemos encontrar dos casos:

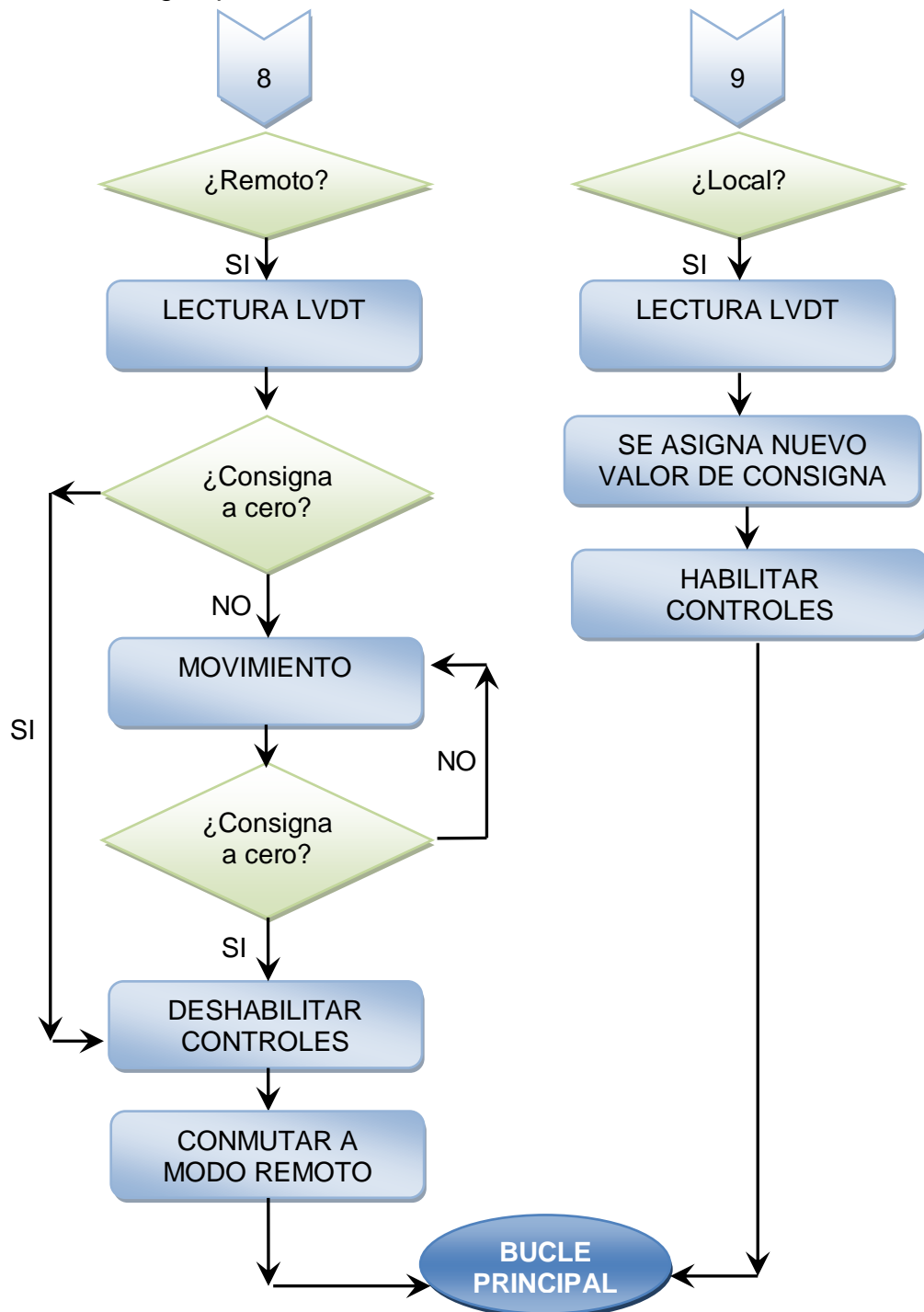
- Pulsar el botón de *Parar*: el cilindro aborta la secuencia actual y lleva la señal de comando desplazamiento al Offset definido para la entrada analógica Desplazamiento.
- Pulsar el botón Pausar: en este caso se detendrá la generación hasta que se vuelva a pulsar el botón de nuevo.





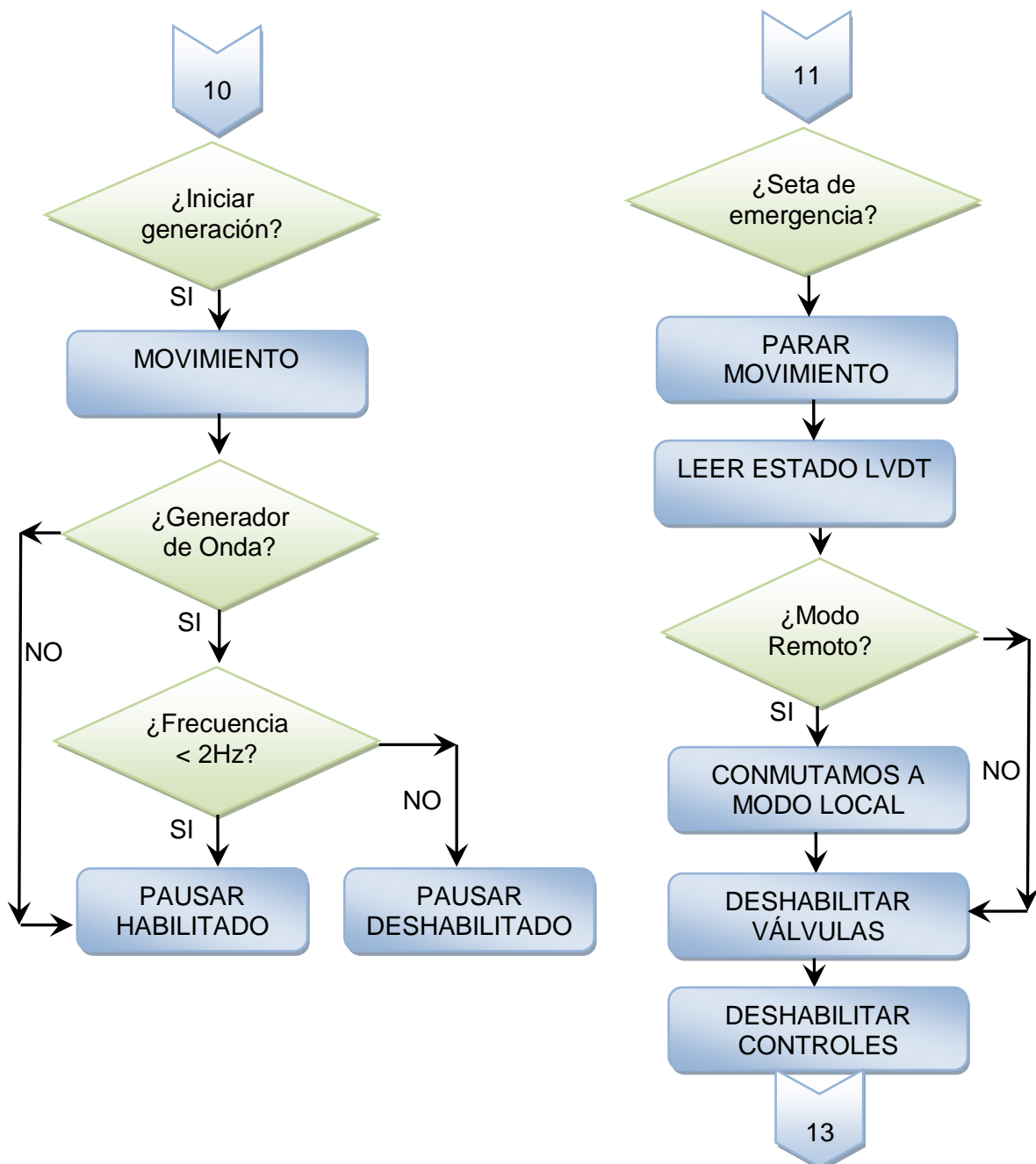
Cuando se conmuta al modo remoto, el programa comprueba si la señal de consigna de desplazamiento (Cmd despl.) está en cero, si no es así antes de conmutar permanece en Local y envía una señal de comando de rampa a cero con el valor de pendiente que se haya definido en el campo Pendiente (mm/s). Una vez que el feedback ha alcanzado este valor tiene lugar la conmutación al modo remoto.

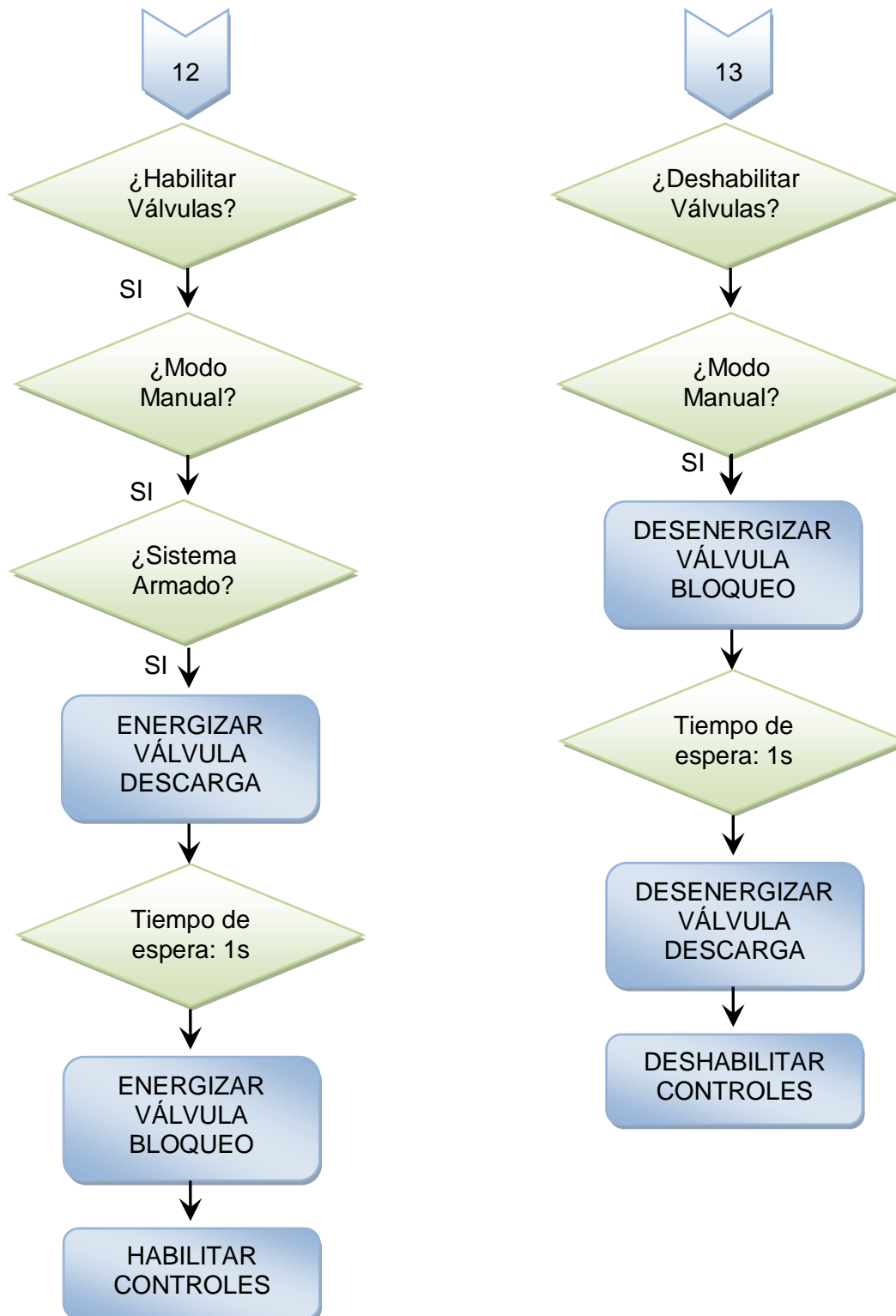
Al conmutar al modo local lo que se hace es leer la señal del LVDT y se fija como consigna para evitar transitorios.



Al pulsar Iniciar generación se produce el movimiento del cilindro. Se genera una rampa si estamos en generador de rampa o perfiles periódicos (seno, cuadrada, triangular o diente de sierra) si nos encontramos en generador de onda. Como se muestra en el siguiente flujo de evento el botón pausar generación estará deshabilitado si estamos generando una onda superior a 2 Hz para evitar las inercias que puedan aparecer a frecuencias mayores debidas a una detención brusca de la generación.

Al pulsar una seta de emergencia se detiene el movimiento, se mantiene como consigna la señal de LVDT, y en caso de estar en modo remoto se conmuta a modo local automáticamente. Además se deshabilitan las válvulas y los controles. Cuando se libera la seta de emergencia tenemos que volver a habilitar las válvulas para continuar con los ensayos.





### 4.3 SOLUCIÓN PARA UN SISTEMA PORTABLE

A raíz del sistema anterior se plantea la posibilidad de desarrollar un prototipo portable que cumpla con las características del sistema anterior, usando la misma aplicación.

En esta sección lo que se pretende es un desarrollo hardware para un prototipo portable que ofrezca, como mínimo, las características del sistema anterior, para ello se va hacer un estudio hardware y veremos cómo incorporar la aplicación anterior en el nuevo sistema. Se sustituirá la tarjeta de generación PCI de National Instruments y el controlador analógico externo de MOOG por una plataforma que permita generación, adquisición y control en lazo cerrado.

El sistema que se quiere implementar debe cumplir no solo con las características del sistema anterior si no que dado el caso en que se necesiten mayores prestaciones el controlador responda satisfactoriamente. Se quiere diseñar un sistema portable favoreciéndonos del desarrollo anterior para que se pueda aplicar en diferentes situaciones que requieran, si fuera necesario, un mayor rendimiento por lo que el tiempo de ciclo, el tamaño y el precio serán factores determinantes a la hora de seleccionar el controlador.

Se quiere integrar el Software anterior en un nuevo sistema Servohidráulico para el control de hasta 4 cilindros por lo que debemos hacer uso de un controlador (en la siguiente sección analizamos diferentes controladores y cual se selecciona) que garantice generación, adquisición y control en lazo cerrado, el tiempo de ciclo que se requiere del equipo es de 4 KHz por lo que nos centraremos en controladores que nos permitan alcanzar estos valores aunque para el sistema anterior no sea necesario. Además este equipo tiene la posibilidad de controlar pro desplazamiento , fuerza o presión , a diferencia del sistema fijo que sólo controla por desplazamiento

Este controlador debe estar integrado en un equipo de pequeñas dimensiones para que sea fácilmente portable por lo que una de las mayores dificultades ha sido poder integrar en un espacio reducido todos los componentes necesarios para garantizar el funcionamiento.

El controlador con los demás componentes irán integrados en un Rack de 19" con una altura de 3U y una profundidad de 495 mm.



4.35 Ejemplo de sistema portable.



#### **4.3.1 Selección hardware**

Se va hacer una comparativa de lo diferentes controladores que se han tenido en cuenta para el diseño. Los controladores de los que se ha hecho estudio son:

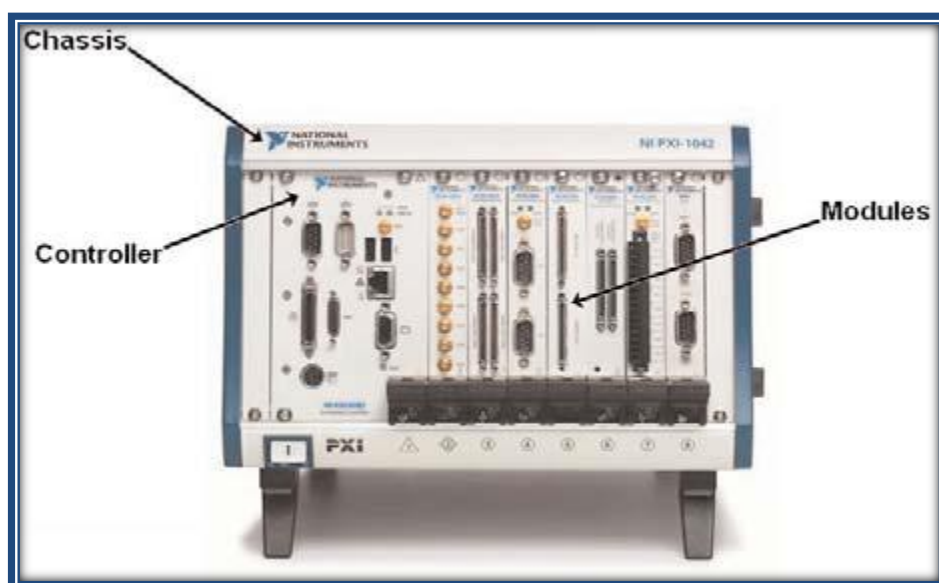
- Hardware PXI de National Instrument
- Hardware Compact Rio de National Instrument
- Hardware de Beckhoff

##### **4.3.1.1 Hardware PXI**

El Sistema PXI es una plataforma robusta, basada en PC, para sistemas de medición y automatización.

El PXI combina las características eléctricas del bus PCI con el formato robusto, modular, Eurocard del CompactPCI y luego agrega buses especializados en sincronización y características de software distintivas. PXI es tanto una plataforma de alto rendimiento como de bajo costo para sistemas de medición y automatización. Estos sistemas se usan en aplicaciones tales como ensayos de fabricación, militares y aeroespaciales, monitoreo de maquinaria, industria automotriz y ensayos industriales.

Los sistemas PXI se componen de tres elementos básicos: chasis, controlador del sistema y módulos periféricos.

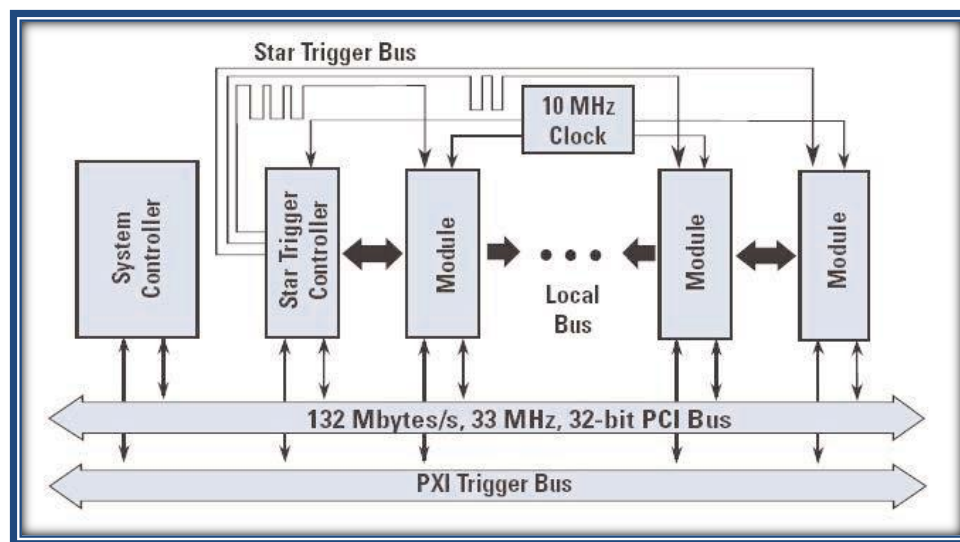


**4.36 Hardware PXI**

## - Chasis

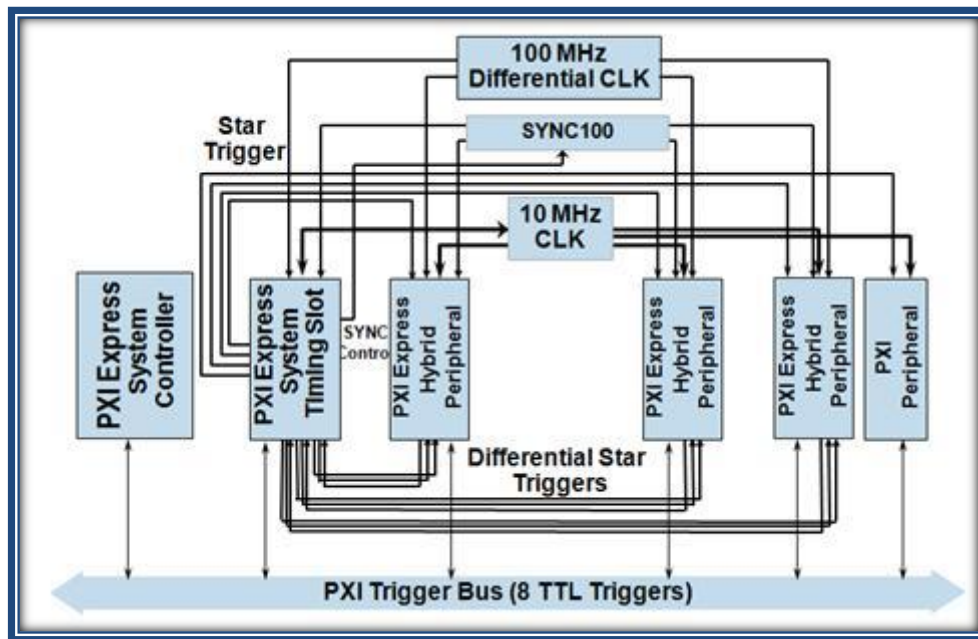
El chasis provee el gabinete robusto y modular del sistema, y varía generalmente su tamaño desde 4 a 18 ranuras, disponiéndose también características especiales tales como fuentes alimentadas con corriente continua y acondicionamiento de señales integrado.

El chasis contiene un plano trasero PXI de alto rendimiento, el cual incluye el bus PCI y buses de temporización y disparo. La instrumentación modular PXI añade un reloj de referencia de sistema dedicado de 10 MHz, un bus de disparo PXI, un bus de disparo en estrella y un bus local de ranura a ranura para atender la necesidad de temporización, sincronización y comunicación lateral avanzadas; todo esto sin perder las ventajas de PCI.



4.37 Buses de Temporizado y Disparo.

Partiendo desde las habilidades de PXI, PXI Express proporciona las características adicionales de temporización y sincronización de un reloj de sistema diferencial de 100 MHz, señalización diferencial y disparos diferenciales en estrella. Al utilizar temporización y sincronización diferencial, los sistemas PXI Express se benefician de la alta inmunidad contra ruido para relojes de instrumentación y de la habilidad de transmitir a velocidades de alta frecuencia.



4.38 Buses de temporización y disparo PXI Express

Utilizando estos buses, los usuarios pueden desarrollar sistemas para aplicaciones que requieran una sincronización precisa.

#### - Controlador PXI

Tal cual lo define la Especificación de Hardware PXI, todos los chasis PXI contienen una ranura para el controlador del sistema en el extremo izquierdo de los mismos (ranura 1).

Las opciones de controladores incluyen a los controladores remotos desde un PC de escritorio, estación de trabajo, servidor o portátil y los controladores embebidos de alto rendimiento que corren ya sea un sistema operativo Microsoft (Windows 2000/XP) o bien un sistema operativo de tiempo real (LabVIEW Real-Time).

#### - Controladores Embebidos

Los controladores embebidos eliminan la necesidad de una PC externo, proporcionando un sistema completo contenido dentro del chasis PXI. Estos controladores embebidos poseen dispositivos estándares tales como CPU integrado, disco duro, RAM, Ethernet, video, teclado/mouse, puerto serial, USB y otros periféricos, así como Windows Microsoft y todos los controladores de dispositivos instalados. Los controladores embebidos están disponibles para sistemas basados en PXI o PXI Express, y su elección de sistema operativo, incluyendo Windows Vista/XP o LabVIEW Real-Time.

Los controladores embebidos PXI están elaborados generalmente utilizando componentes estándares de PC en un paquete pequeño PXI.



**4.39 Controlado PXI**

La ventaja de este hardware a parte del gran rendimiento que ofrece, es el que menos horas de desarrollo supondría, pues admite todas las librerías que Labview dispone al desarrollador para su sistema de tiempo Real trabajando a una frecuencia de 4KHz.

La parte negativa de este gran sistema es su elevado coste aproximadamente 3 veces más caro que Beckhoff y 2 más que CRIO, superando los 10.000 euros para 2 canales, por lo que se descarta como solución, además de que su tamaño supera la altura de 3U ya que el chasis es de 4U

#### **4.3.1.2 Hardware Beckhoff**

Beckhoff implementa sistemas de automatización abiertos basados en tecnología de computadores industriales .

La gama de productos Beckhoff cubre PCs industriales, componentes de entradas y salidas por medio de buses de campo, tecnología de drivers y software de automatización. Productos que pueden utilizarse como componentes separados o integrados en un completo y robusto sistema de control.

Beckhoff " La Nueva Tecnología En Automatización" representa la filosofía universal del control y las soluciones de automatización que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, que van desde plantas de energía hasta la automatización de edificios inteligentes.

La tecnología de control Beckhoff es escalable – desde PCs industriales de altas prestaciones hasta mini PLCs – y pueden adaptarse a cualquier tipo de aplicación. El software de control TwinCAT integra control a tiempo real con funciones PLC, NC y CNC en un único paquete. Todos los controladores Beckhoff son programables mediante TwinCAT utilizando normas de programación estándar como IEC61131-3



4.40 Controlador Beckhoff

Quizás estéticamente Beckhoff no es muy atractivo, pero si la idea es integrar el controlador en un rack, estaríamos en una situación equivalente a los anteriores.

La mayor ventaja de Beckhoff es que tanto para un producto de altas prestaciones como de bajas, el código sería 100% compatible para diferentes controladores y barreríamos frecuencias de trabajo que oscilarían de 1ms (Controlador CX1010) hasta 50us (PC industrial C6920). Con esto conseguimos que lo único que habría que hacer sería comprar un controlador u otro dependiendo de los requisitos del sistema. Además su desarrollo es válido para todas las arquitecturas hardware de Beckhoff.

Este controlador es el menos costoso de los tres, su coste es tres veces menor que PXI y aproximadamente la mitad que el CRIO.

El problema radica en que si la necesidad del sistema requiere un controlador con un tiempo de ciclo elevado en torno a 4 KHz el controlador tendría un tamaño nada despreciable, superando la altura de 3 U.

Otro punto negativo es el desarrollo y depuración, es más laborioso pues está basado en codesys (similar al lenguaje de programación C). Por lo que el tiempo de programación aumentaría considerablemente si contamos además con el periodo de aprendizaje de un nuevo lenguaje.

#### **4.3.1.3 Hardware CompactRio**

Este es el hardware seleccionado, concretamente el controlador CompactRio modelo 9074. El CompactRIO de National Instruments es un sistema industrial de control y adquisición de datos pequeño y robusto que está motorizado por tecnología reconfigurable de E/S del tipo FPGA (RIO) para proveer un rendimiento ultra alto y permitir la personalización. El NI CompactRIO incorpora un procesador FPGA de tiempo real y reconfigurable para ejecutar aplicaciones confiables e independientes o distribuidas y módulos industriales de E/S removibles en caliente que poseen acondicionamiento de señal incorporado para poder conectar sensores actuadores directamente.

CompactRIO representa una arquitectura de bajo costo con acceso abierto a los recursos de bajo nivel del hardware. Sus sistemas embebidos se desarrollaron utilizando herramientas gráficas de alta productividad de programación en LabVIEW para un rápido desarrollo. Con CompactRIO se pueden construir rápidamente sistemas embebidos de control o adquisición que rivalizan con el rendimiento y optimización de los circuitos de hardware diseñados a medida.

Normalmente, la programación de una FPGA requiere un conocimiento detallado de la configuración específica del hardware, así como la utilización de un lenguaje de descripción de bajo nivel como VHDL, que tiene una pronunciada curva de aprendizaje.

Pero la tecnología NI Rio reduce la complejidad del hardware embebido y de los lenguajes de bajo nivel para proporcionar un acceso sencillo, pero potente, a las FPGAs.

Por ejemplo, se puede usar el RIO para configurar fácilmente la funcionalidad del hardware como E/S, PID, filtrado procesamiento de señales o transferencia de datos, con solo unos pocos bloques de funciones. Una funcionalidad similar requería la implementación de muchas páginas de código en VHDL.



**4.41 Compact Rio 9074**



La arquitectura se compone de tres partes principales el controlador en tiempo real embebido, el chasis embebido reconfigurable que contiene la FPGA y los módulos de E/S.

La integración del controlador embebido, el chasis que contiene la FPGA y los módulos conectables de E/S permiten la rápida creación de aplicaciones embebidas y prototipos del sistema para las aplicaciones de medida y control eliminando la necesidad de implementar los detalles del hardware de bajo nivel que son requeridos en los sistemas embebidos.

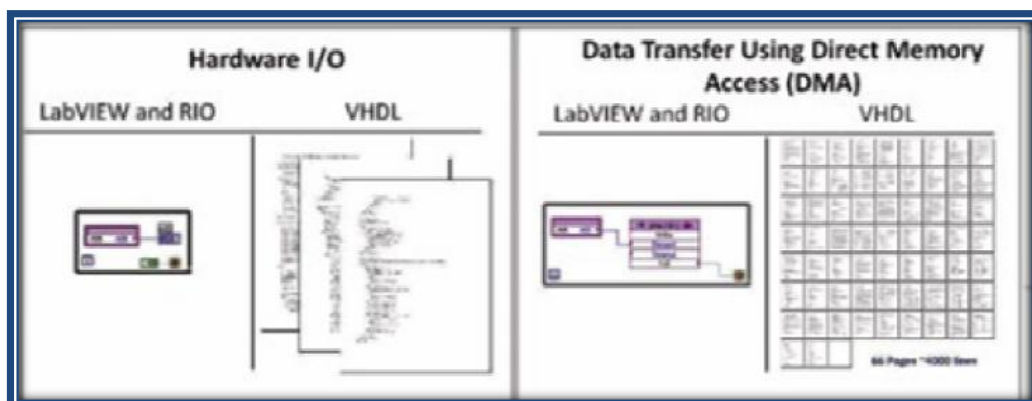
Gracias a la conexión directa entre módulos de E/S y la FPGA se puede integrar la sincronización y el disparo entre los módulos de E/S a través de la FPGA y obtener un alto nivel de flexibilidad del sistema.

### **Controlador de tiempo real**

El controlador de tiempo real incorpora un procesador industrial de 400 MHz que ejecuta las aplicaciones de forma determinística y fiable. Se puede elegir entre miles de las funciones incorporadas de LabVIEW para construir un sistema embebido para control, análisis, registro de datos y comunicación en tiempo real.

El modulo Real-Time amplía el entorno de desarrollo para proporcionar unas prestaciones deterministas y en tiempo real. Solo hay que desarrollar el código de la aplicación de tiempo real en un ordenador mediante la programación grafica y luego descargar la aplicación para que se ejecute en el controlador de tiempo real. Para ahorrar tiempo, también se puede integrar el código existente de C/C++ dentro de la aplicación de LabVIEW Real-Time

El controlador de tiempo real dispone de dos puertos Ethernet de 10/100 Mb/s para los programas de comunicación a través de la red (incluyendo el correo electrónico), un servidor web (HTTP), servidores de archivos (FTP) y entradas de alimentación simple entre 19 y 35 VCC.



4.42 Implementación con Labview y RIO del hardware de E/S y hardware con DMA en comparación con las implementaciones VHDL.



### **Módulos de entradas y salidas**

Cada módulo de E/S contiene una función de acondicionamiento de señales incorporado y un borne de conexión de presión por tornillo, un borne de conexión de presión por resorte, BNC o conectores D-Sub.

Al integrar el conector en la caja de conexiones de los módulos, el CompactRio reduce significativamente las necesidades de espacio y el coste del cableado en campo.

Hay disponibles varios tipos de E/S entre las que se incluyen: entradas para termopares; entradas para acelerómetros, entradas analógicas de hasta  $\pm 60V \bullet \pm 20mA$ ; salidas analógicas hasta  $\bullet \pm 10V \pm 20mA$ ; E/S digitales industriales de 12/24/48V con un suministro de corriente de hasta 1 A y entradas digitales de 5V/TTL para encoders, contadores/temporizadores y generadores de pulsos.

### **Chasis**

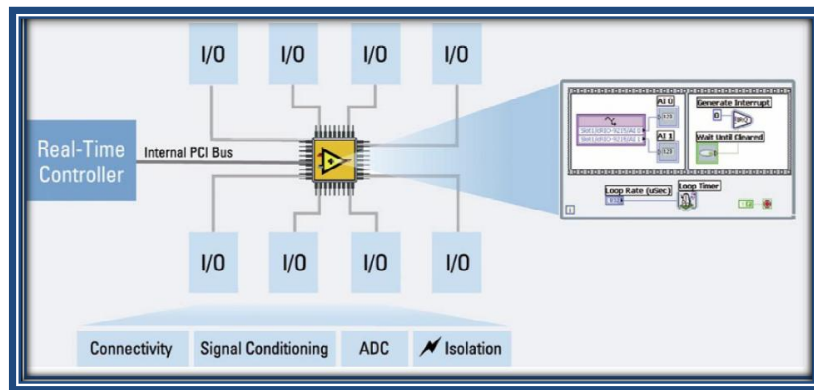
El chasis reconfigurable es el corazón del sistema Compact Rio con 2 millones de puertas lógicas, contiene el núcleo Rio FPGA. El chip RIO FPGA se conecta a los módulos de E/S mediante una topología en estrella, proporcionando un acceso directo a cada módulo para un control preciso y una flexibilidad sin límites de la temporización, disparo y sincronización. La conexión a través de un bus local PCI proporciona una interfaz de alto rendimiento entre la RIO FPGA y el procesador en tiempo real.

### **Especificaciones técnicas**

CompactRio ofrece un diseño robusto que proporciona una carcasa segura para los componentes internos del sistema, eliminando la necesidad de invertir recursos en el desarrollo de una carcasa mecánica personalizada. El diseño del producto está pensado para funcionar dentro de un rango de temperatura nominal de  $-20^{\circ}$  a  $55^{\circ}$ , resistir choques de 50g y funcionar en lugares peligrosos o ambientes potencialmente explosivos.

La mayoría de módulos de E/S disponen de un aislamiento que resiste tensiones de corta duración hasta 2.300Vrms y aislamiento para 250Vrms continuos. Cada componente viene con diversas certificaciones y calificaciones internacionales de seguridad, compatibilidad electromagnética (EMC) y de medio ambiente.





**4.43 Arquitectura CompactRio**

También está diseñado para aplicaciones extremas en ambientes adversos, tales como plantas de energía y otros entornos industriales desafiantes y para sitios pequeños, como el control de vehículos submarinos no tripulados, donde el espacio es una limitación.

Tamaño, peso, densidad de canales de E/S y consumo de potencia son requisitos críticos de diseño en muchas de estas aplicaciones embebidas.

Aprovechando la naturaleza determinista y reconfigurable de los dispositivos FPGA, es capaz de proporcionar capacidades de control y adquisición fiables y reconfigurables en un formato compacto y resistente.

Un sistema de ocho slots en el que se han instalado módulos de E/S de 32 canales proporciona un peso por canal de 9,7gr/ch.

El consumo típico de potencia de todo el sistema embebido CompactRio es del orden de 20 W.



**4.44 Módulos E/S**

Utilizando la potencia del núcleo de la FPGA se pueden diseñar lazos de control digital de 10MHz sin reducción de las prestaciones cuando se aumenta el número de los cálculos lógicos y también hacer funcionar lazos de control PID analógicos a 100 kHz utilizando cálculos basados en números enteros de 32 bits en la FPGA.

- **Comparación de costes**

En las siguientes tablas se muestran el número de entradas y salidas necesarias y los precios de los controladores en función de los canales.

CANALES DE CONTROL			
Canales	1	2	4
ENTRADAS ANALOGICAS	2	4	8
SALIDAS ANALOGICAS	4	8	16
ENTRADA EXTENSOMETRIA	2	4	8

4.3 Número de entradas y salidas

Controlador	BECKHOFF CONTROLADOR	PXI	CRIO
1-2 canales	4.071,93 €	10.285,30 €	5.213,05 €
4 canales	5.147,86 €	10.285,30 €	6.395,50 €

4.4 Comparativa de precios de diferentes controladores.

### Selección de módulos de E/S

- El **NI 9237** de National Instrument es un modulo de extensiometría de 4 canales con entrada analógica de  $\pm 25\text{mV/V}$ . Cuatro entradas analógicas muestreadas simultáneamente a 50 kS /s de velocidad de muestreo máxima.  
Además se puede realizar maniobras de calibración y ofrece aislamiento transitorio de 1000 Vrms entre los canales de E/S y el plano trasero.  
El NI 9237 también tiene protección contra sobrevoltaje de  $\pm 30\text{ V}$  y puede soportar salida de corriente hasta 2mA por canal.



4.45 Módulo de extensimetría de cuatro canales Ni 9237

- El **NI 9205** de National Instrument es un módulo de entradas analógicas de 16 bits. El módulo tiene 32 canales de  $\pm 10$  V, si es verdad que para un sistema de 1 o 2 canales se podría usar otro módulo con menos entradas (4 entradas) pero se ha optado por este módulo de 32 canales ya que lo que se busca es que sea un sistema ampliable hasta 4 canales y ya necesitaríamos 8 entradas, la diferencia de precio no es muy grande y puede ser conveniente en el caso de querer añadir más sensores al sistema.



4.46 Módulo de entradas analógicas Ni 9205

- El **NI 9264** de National Instrument es un módulo de salidas analógicas de 16 bits. El módulo tiene 16 canales de  $\pm 10V$  con una velocidad máxima de muestreo de 25 kS/s/ch. Además ofrece aislamiento contra sobrevoltaje de  $\pm 30V$  por canal.



4.47 Módulo de salidas analógicas NI 9264

- El **NI 9403** es un modulo de entradas/salidas digitales de 32 canales bidireccionales con tecnología TTL. Las dos características más importantes a nivel tecnológico de la familia TTL son la utilización de TRT's multiemisor que constituyen las entradas de puerta lógica y una salida denominada "Totem-pole" que le suponen unas mejoras considerables en su funcionamiento. Además ofrece aislamiento transitorio de 1000 Vrms entre los canales de E/S. y protección contra sobrevoltaje de  $\pm 30V$  por canal.



4.48 Módulo de entradas/salidas digitales Ni 9403

#### **4.3.2 Diseño Mecánico**

Seleccionado el controlador vamos a pasar al diseño del equipo.

El Rack que albergue todos los componentes ha de ser un rack de 19 “, con una altura de 3 U y una profundidad de 495 mm. Una unidad rack o simplemente U es una unidad de medida usada para describir la altura del equipamiento preparado para ser montado en un rack de 19 pulgadas de ancho. Una unidad rack equivale a 1,75 pulgadas (44.45 mm) de alto.



4.49 Rack de 19" y una altura de 3U

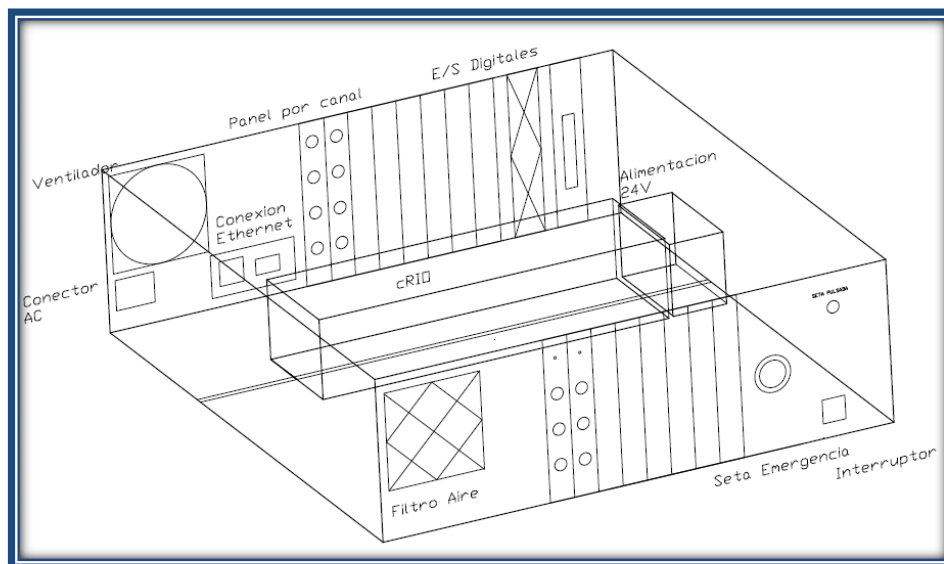
Al ser un sistema portable y poder trabajar en cualquier entorno ha de tener Compatibilidad electromagnética (EMC). Entre las principales funciones de la EMC está garantizar que los dispositivos, equipos o sistemas funcionen satisfactoriamente en presencia de otras fuentes electromagnéticas, a la vez que no afecten a otros sistemas, equipos o dispositivos como tampoco al entorno que lo rodea. Con respecto a la salud humana, esta disciplina aborda el tema de los posibles perjuicios causados por ciertos equipos electrónicos.

Además la EMC fija normatividad para evitar que algunos equipos altamente sensibles o vitales sean afectados por alguna contaminación electromagnética.

Conceptualmente  $EMC = EMI + EMS$

- Inmunidad o Susceptibilidad Electromagnética (EMS): Para que el aparato, equipo o sistema sea capaz de operar adecuadamente en un entorno sin ser interferido por otros .
- Interferencias Electromagnéticas (EMI): Para que el equipo no sea fuente de interferencias que afecten a otros equipos de ese entorno (emisiones electromagnéticas).

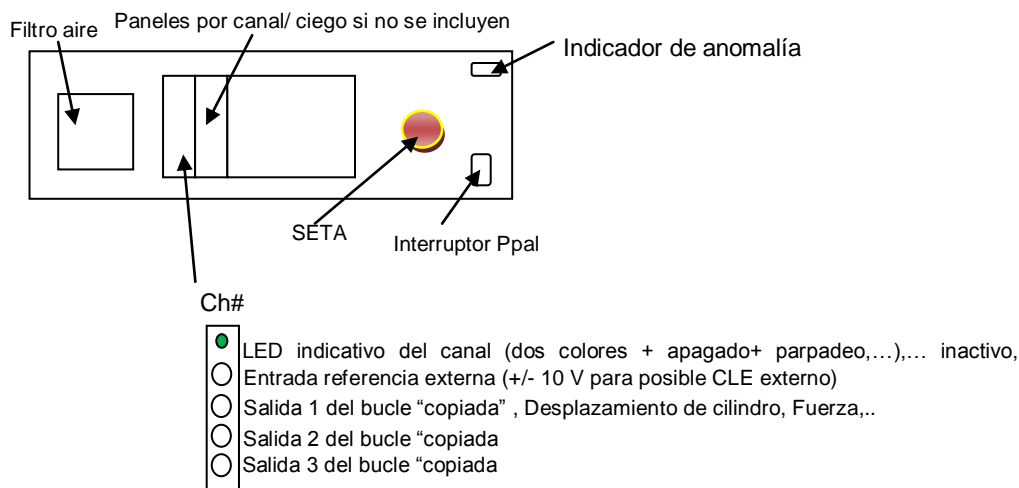
El diseño mecánico del Rack se muestra en la siguiente figura, en su interior se encuentra el hardware CompactRio, una fuente de alimentación de 24 VDC, y un ventilador de 80x80. Como se muestra en la figura se ha diseñado el mecanizado para 2 canales, estando los demás canales con paneles ciegos.



**4.50 Diseño Rack**

A continuación se muestra una visión del Rack de la parte trasera y delantera:

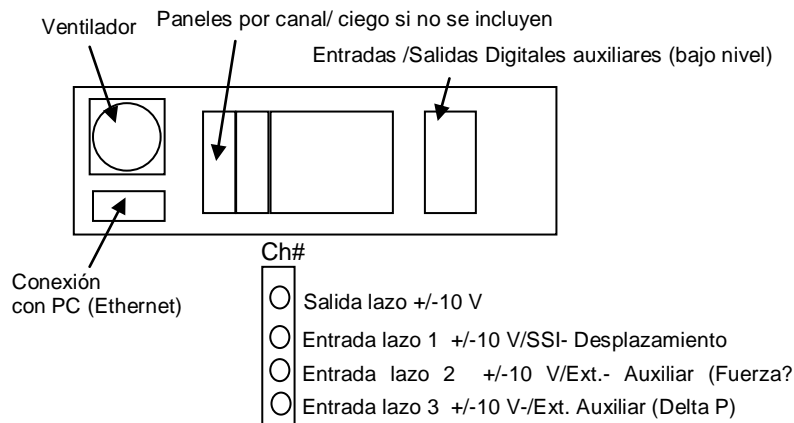
### **Frontal**



En la parte frontal se tiene un conector para conectar una expansión de acondicionamiento externa para un posible control de lazo externo como puede ser el Abacus utilizado en el sistema fijo con control por aceleración. Se incluyen tres salidas analógicas que son una copia de las entradas analógicas para tener la posibilidad de conectarlas también a la expansión de

acondicionamiento externa para adquisición y análisis de datos. Un Led indicador del estado del ensayo según su funcionamiento, apagado, encendido o parpadeo. Y por último una seta de emergencia en caso de que se necesite parar rápidamente el ensayo, la seta de emergencia manda una señal que entra en el controlador para que actúe en función al estado de emergencia y se envíe a la central hidráulica para que cese su funcionamiento. En este caso se encenderá el Led indicador de anomalía.

### Trasero



En el panel trasero se incluirán los conectores BNC correspondientes a la salida acondicionada hacia la servoválvula y la entrada de los sensores de desplazamiento, fuerza y presión .A diferencia del sistema fijo detallado en la sección anterior en el que se tenía desplazamiento y fuerza, en este caso se puede conectar a parte de las dos anteriores, una entrada para  $\Delta P$ .

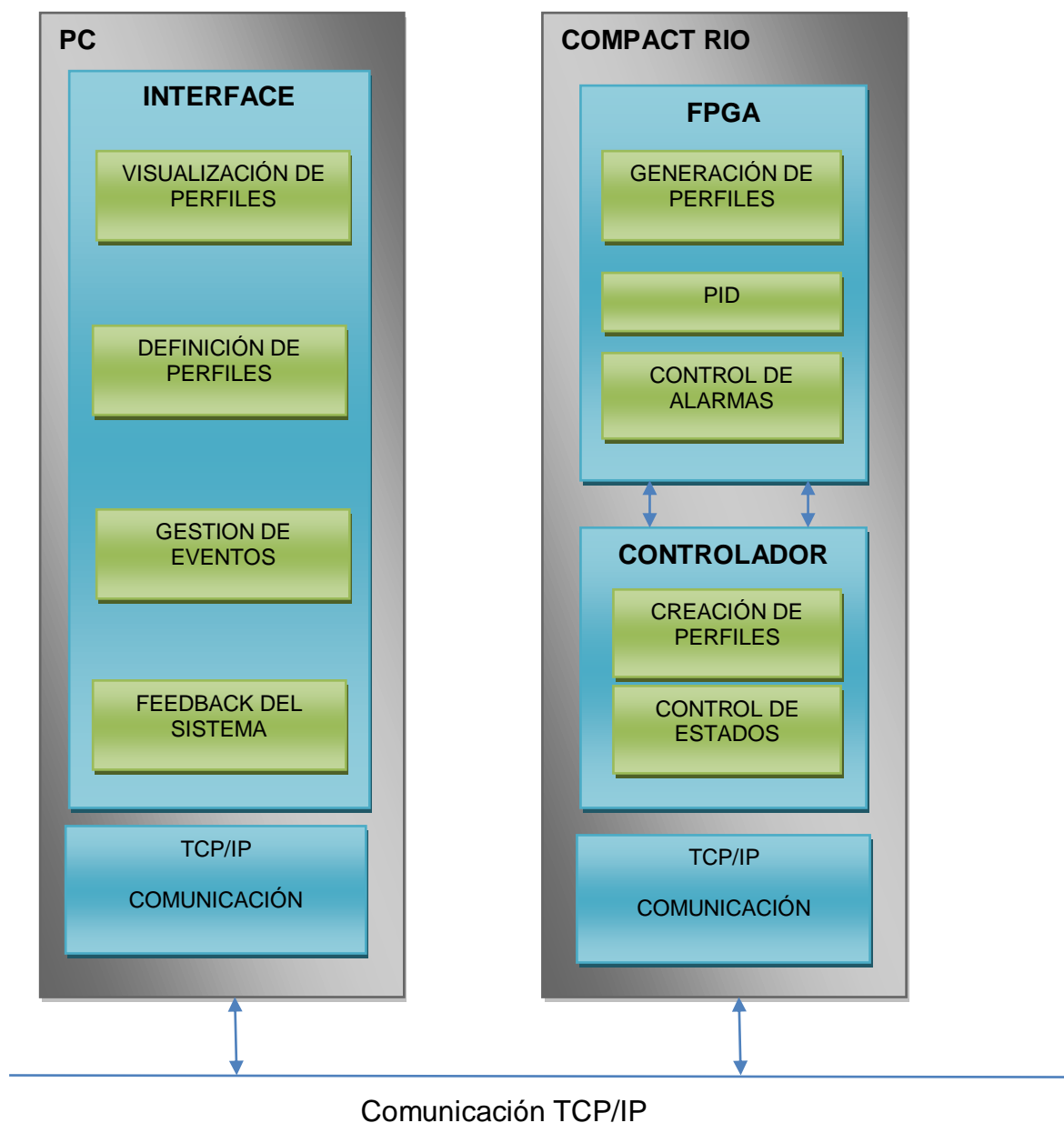
En este sistema ya no será un control exclusivo por desplazamiento, si no que se puede tener control por cada una de las entradas, esto se debe a que el PID no es externo como el sistema anterior si no que se hace funcionar lazos de control PID utilizando la FPGA por lo que facilita el control de la variable que se desee.

### 4.3.3 Diseño Software

Como se explico anteriormente lo que se va a hacer es integrar la aplicación software en los dos sistemas para ello hay que hacer alguna modificación en el software además hay que implementar un PID que a diferencia del sistema fijo utilizábamos un PID externo.

#### 4.3.3.1 Arquitectura Software

A continuación muestra la arquitectura de los diferentes componentes que definen al sistema completo y las comunicaciones posibles.





- *Código Controlador*

El Controlador del CompactRio se encarga de gestionar y realizar las operaciones necesarias para crear los perfiles empleados en los diferentes ensayos que posteriormente se envían a la FPGA para su generación a través de memorias FIFO. El Controlador se ocupa de todas las tareas de control que no son críticas, por lo que se ocupará del control de los estados, control de las seguridades y permisos de los mandos de control por lo que todas estas tareas se moverán del PC al CompactRio.

En el Controlador se ha integrado la lógica necesaria para el control y gestión de los ensayos en función de los estados, habilitando o deshabilitando las diferentes secciones de la aplicación según proceda y siempre haciendo las comprobaciones necesarias antes de realizar un ensayo, como puede ser control de las electroválvulas, de la presión de línea, que el sistema este armado o gestión de las setas de emergencia.

El motivo de integrar estas tareas en el Controlador en lugar del PC se debe al hecho de tener el sistema controlado en todo momento, ya que si alguna de estas tareas estuviera en el PC se podría descontrolar el sistema en caso de que se pierda comunicación con el PC, por un fallo de la comunicación, con esta medida se consigue un sistema de control mucho más robusto.

La velocidad de procesamiento en el Controlador es mucho menor que la de la FPGA, del orden de 1 KHz, es por ello que las tareas que requieren de un tiempo de ciclo elevado las lleve a cabo la FPGA. Puede parecer lógico que si la FPGA tiene una velocidad de procesamiento mucho mayor que el Controlador, toda la lógica este integrada en ella pero el motivo de que esto no sea así es por la limitación de espacio que tiene la FPGA además se ha de tener en cuenta que la programación en la FPGA es bastante más costosa que en el Controlador debido a que solo admite cálculos aritméticos con números enteros y de coma fija además de que los tiempos de compilación cada vez que se quiera probar el código si ha realizado alguna modificación son elevados.

Su función es la de hacer de nexo de unión entre la FPGA, el PC de forma que el rendimiento del sistema no se vea influido por operaciones que no sean de vital importancia.

- Código FPGA

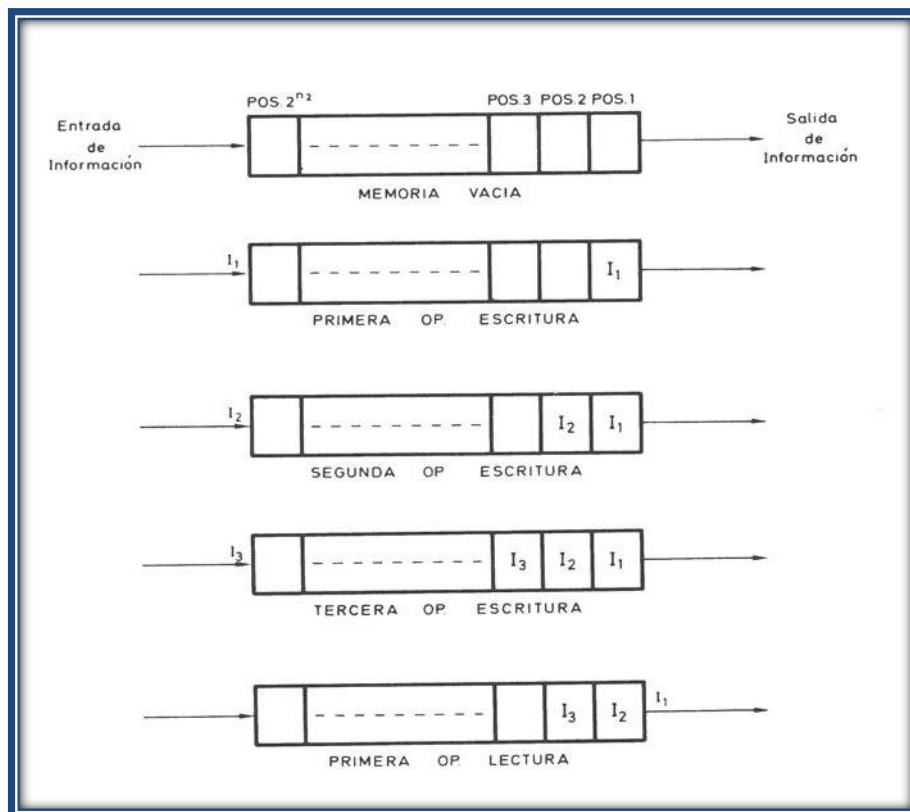
El código de la FPGA es la más importante pues de su tiempo de ciclo depende generar a la frecuencia deseada. El número de operaciones que realice por ciclo es el factor más importante para obtener un mayor rendimiento.

En la FPGA se producen las tareas más críticas para el sistema como es la generación a una determinada frecuencia, control en lazo cerrado y control de las alarmas.

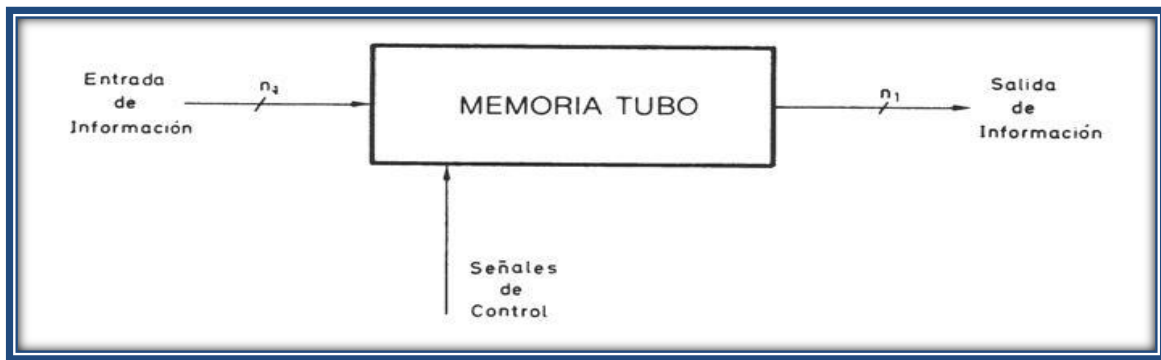
Para la generación de perfiles, la FPGA recoge de la memoria FIFO los perfiles creados en el controlador y los reproduce a la frecuencia de generación que se requiere.

Las FIFOs se usan para almacenaje y hacer control de flujo. Un FIFO consiste básicamente en un conjunto de punteros de lectura/escritura, almacenamiento y lógica de control. El almacenamiento puede ser SRAM, flip-flops, latches o cualquier otra forma adecuada de almacenamiento.

Son memorias serie en las que la primera información que entra es la primera que sale (First Input First Output).



4.51 Representación de una FIFO en bloque



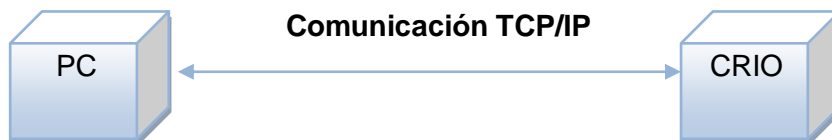
4.52 Representación de funcionamiento de una FIFO

Las memorias FIFO pueden implementarse con registros de desplazamiento estáticos y una unidad de control. Esta última debe tener en cuenta las siguientes características de este tipo de memoria.

- La lectura es destructiva, es decir que al leer, el dato leído ya no está más en la memoria.
- Cada operación de lectura o escritura debe producir un desplazamiento del resto de la memoria.
- Cuando la memoria está llena no podrá escribirse, por lo tanto la Unidad de Control deberá ser capaz de generar una señal de Memoria llena.
- Generar las señales de control necesarias para que el primer dato escrito este disponible para la primera lectura.
- Deberá aceptar al menos tres entradas exteriores: señal de lectura/escritura, señal de inicio de ciclo y señal de sincronismo.

#### **4.3.4 Comunicaciones del sistema**

En el sistema fijo se utiliza una PCI integrada en el ordenador, ahora tenemos que establecer una comunicación entre el PC y el CompactRio, comunicación TCP/IP



Los protocolos forman la base esencial de una red, debido a que estos establecen el lenguaje de comunicación que se va a utilizar entre los distintos equipos de una red para la transmisión de datos entre sí.

Igualmente, definen el conjunto de reglas o convenciones establecidas y aceptadas de manera general, que regulan el intercambio de información entre los nodos (conexiones, uniones) de una red. La complejidad de un protocolo radica en dos aspectos: el número de estaciones involucradas en la comunicación a través de un medio de transmisión y el método de acceso al canal.

#### **Características de los protocolos:**

*-Control de errores:* Debido a que en todos los sistemas de comunicación cabe la posibilidad de que aparezcan errores por la distorsión de la señal transmitida en el camino que va desde el emisor al receptor, se hace necesario el uso de un control de errores; a través de un procedimiento de detección y corrección de errores (o retransmisión de los datos).

Para el control de errores se utilizan unas técnicas necesarias para recuperar perdidas o deterioros de los datos y de la información de control. Por lo general el control de errores se aplica por medio de dos funciones separadas: La retransmisión y la detección de errores.

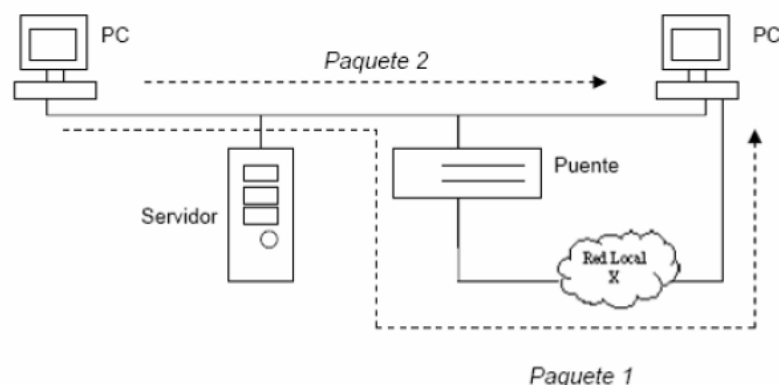
*-Control de flujo de datos:* Para evitar que el emisor sature al receptor transmitiendo datos más rápido de lo que el receptor o destino pueda asimilar y procesar, se hace necesario el uso de ciertos procedimientos llamados controles de flujo.

El control de flujo es una operación realizada por el receptor (destino) para limitar la velocidad o cantidad de datos que envía la entidad el emisor (origen o fuente). Una de las maneras de aplicar el control de flujo es mediante el uso de "parada y espera", en el que se debe confirmar el paquete de información recibido antes de enviar el siguiente.

Otra manera de utilizar un control de flujo es mediante el envío de la información de la cantidad de datos que pueden ser transmitidos sin tener que esperar la confirmación.

-*Formato de los datos*: Esto tiene que ver con el acuerdo que debe existir entre las dos partes respecto al formato de los datos intercambiados, como por ejemplo el código binario usado para representar los caracteres.

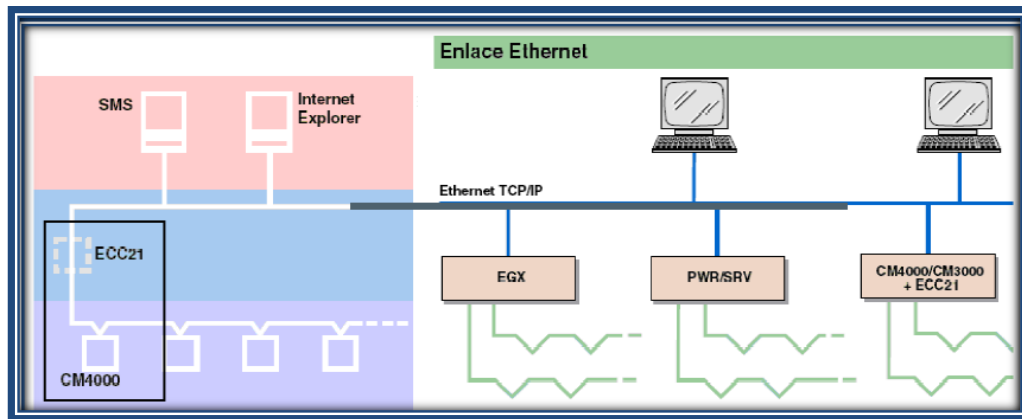
-*Orden de los datos*: El orden de los datos es esencial en una red donde existen diferentes estaciones (terminales, estaciones de trabajo, servidores, etc.) conectadas, debido a que los paquetes de información pueden ser recibidos de manera diferente, ya sea por que toman caminos distintos a través de la red, por ejemplo, si el paquete 1 toma una ruta larga y el paquete 2 toma una corta, evidentemente el paquete No. 2 llegara primero (suponiendo que los dos paquetes son del mismo tamaño) y los datos recibidos no serán los mismos que están en emisor (debido a que tendrán un orden diferente en el receptor).



4.53 Flujo de control de una red con diferentes estaciones

### TCP/IP:

Constituye una familia de protocolos de comunicación diseñados con una motivación fundamental: Lograr la interoperabilidad entre los diferentes sistemas de comunicación de una red heterogénea/multivendedor en forma transparente para el usuario final. Tal heterogeneidad se manifiesta a diferentes niveles de interconexión los cuales van desde los protocolos de la capa física hasta las aplicaciones.



4.54 Arquitectura TCP/IP .EJ Ethernet

TCP/IP constituye la familia de protocolos con mayor número de instalaciones a nivel internacional. Sus orígenes se remontan a inicios de los años 70, cuando un conjunto de investigadores del Departamento de Defensa de los Estados Unidos dio inicio a un proyecto cuyo propósito fue diseñar un conjunto de protocolos que pudiera ofrecer interoperabilidad a la variedad de ambientes de computación conectados a sus redes. Es así como nace ARPANET (Advanced Research Project Agency Net) y posteriormente Internet, la red con mayor cantidad de usuarios y computadores conectados a nivel mundial.

El *modelo TCP/IP* estructura el problema de la comunicación en 5 capas relativamente independientes entre sí:

- **Capa física.**

Define la conexión física entre el nodo y la red, incluyendo los aspectos físicos, mecánicos (cables, conectores, secuencia de pines) y aspectos eléctricos (niveles de voltaje, técnicas usadas para modular la señal), etc.

La unidad de transmisión es el BIT. Y tiene como función la transmisión de bits sobre el canal de comunicación:

- Acotados: Par de cables trenzados, cable coaxial, fibra óptica, etc.
- No Acotados: Microondas, radio, satélite, etc.

- **Capa de acceso a la red.**

Define los mecanismos para determinar las rutas que deben seguir los paquetes dentro de la red y para el control de la congestión.

Es responsable del *intercambio de datos* entre el *sistema final* (servidor, estación de trabajo, etc.) y *la red* a la cual está conectado

- **Capa internet.**

Para sistema finales conectados a la misma red, la capa de acceso a la red está relacionada con el acceso y encaminamiento de los datos.

- **Capa extremo-a-extremo o de transporte.**

Define los mecanismos para mantener la confiabilidad de las comunicaciones en la red. Regula de flujo de mensajes, retransmisión de paquetes, inicio/terminación de sesiones entre nodos, etc.

- **Capa de aplicación.**

Contiene la lógica necesaria para posibilitar las *aplicaciones de usuario*. Aquí se incluyen protocolos destinados a proporcionar servicios, tales como correo electrónico (SMTP), transferencia de ficheros (FTP), conexión remota (TELNET) y otros más recientes como el protocolo HTTP

**Protocolos de la capa de Transporte:**

1) TCP (Transmission Control Protocol):

Es un protocolo orientado a conexión full-duplex que provee un circuito virtual totalmente confiable para la transmisión de información entre dos aplicaciones. TCP garantiza que la información enviada llegue hasta su destino sin errores y en el mismo orden en que fue enviada.

2) UDP (User Datagram Protocol):

Es un protocolo no orientado a conexión full duplex y como tal no garantiza que la transferencia de datos sea libre de errores, tampoco garantiza el orden de llegada de los paquetes transmitidos. La principal ventaja del UDP sobre el TCP es el rendimiento; algunas de las aplicaciones que utilizan el UDP son TFTP, NFS, SNMP y SMTP.

**Protocolos de la capa de internet:**

1) IP (Internet Protocol):

Provee la información necesaria para permitir el enrutamiento de los paquetes en una red. Divide los paquetes recibidos de la capa de transporte en segmentos que son transmitidos en diferentes paquetes. IP es un protocolo no orientado a conexión.



2) ICMP (Internet Control Message Protocol):

Este protocolo se emplea para el manejo de eventos como fallas en la red, detección de nodos o enrutadores no operativos, congestión en la red, etc., así como también para mensajes de control como “echo request”. Un ejemplo típico del uso de este protocolo es la aplicación PING.

3) ARP (Address Resolution Protocol):

Permite localizar la dirección física (Ethernet, Token Ring, etc.) de un nodo de la red, a partir de su dirección lógica (IP) la cual es conocida. A nivel de la capa de red, los nodos se comunican a través del uso de direcciones IP; no obstante, los paquetes IP se entregan a la capa de enlace para su colocación en el canal de comunicación. En ese momento, el protocolo de la capa de enlace no tiene conocimiento de la dirección física del nodo destino. La estrategia que utiliza ARP para investigar la dirección física es enviar un mensaje a todos los nodos de la red (*broadcast*), consultando a quien pertenece la dirección lógica destino. Cuando el nodo destino recibe el mensaje y lo pasa a la capa de red, detecta que es su dirección IP y reconoce que el nodo origen está solicitando su dirección física y responde.

4) RARP (Reverse Address Resolution Protocol):

Ejecuta la operación inversa al protocolo ARP, permite a un nodo de la red localizar su dirección lógica a partir de su dirección física. Esta aplicación se utiliza en aquellos nodos de la red, que no proveen facilidades para almacenar permanentemente su dirección IP, como por ejemplo: microcomputadores o terminales sin disco duro.

5) Proxy ARP:

Cuando un nodo en la red “A” requiere comunicarse con otro nodo en la red “B”, necesita localizar su dirección física, sin embargo como los nodos se encuentran en redes distintas, es el enrutador quien se encarga de efectuar el cálculo de la dirección. En tal sentido, la dirección física entregada al nodo en la red “A” corresponde al enrutador conectado a esa red.







# 5 ANÁLISIS DE COSTES

**Descripción:** *El objetivo de este punto es calcular todos los costes anticipados asociados con el problema, incluyendo coste de construcción, instalación y operación.*

El aspecto fundamental que diferencia al ingeniero de otros estamentos técnicos y científicos es el control y planificación de los elementos que intervienen en su trabajo. Cuestiones fundamentales a la hora de realizar aplicaciones software dentro de la ingeniería de proyectos contando la gestión del proyecto como el presupuesto del mismo.

En la elaboración de un proyecto técnico se sigue un largo proceso desde la concepción de la necesidad del producto a desarrollar hasta que se logra su realización, culminada por la aceptación del cliente. Por lo tanto, es muy necesario tener en cuenta el coste del tiempo que se interviene. Debido a esto, antes de afrontar el desafío de cubrir la nueva necesidad surgida será básico realizar la evaluación de un trabajo de las características del propuesto, confeccionar una planificación de los elementos que intervienen en el desarrollo del proyecto técnico y establecer las características y diferencias que desvinculen dicho proyecto de otros trabajos similares.

De entre los costes de un proyecto técnico se destacan por su importancia los costes de inversión inicial. Estos costes se derivan tanto de la adquisición de los equipos necesarios para la realización del proyecto como de la programación que los mismos requieren. Ahora bien, el conjunto de equipos y programas se suelen utilizar normalmente para varios trabajos del mismo, por lo que es necesario repartir la inversión total de ellos.

En resumen, se puede concluir respecto a este tema que el coste real del proyecto solo debe incluir la amortización del material que dicho proyecto ha utilizado durante el tiempo que ha sido utilizado.

Por tanto, un diseño efectivo crea los pilares para el desarrollo óptimo del producto final.

En el presente apartado se pretende estudiar el coste que ha requerido el desarrollo del proyecto. Para ello se dividirá el coste total en diferentes categorías, y se estimará el valor de cada una de ellas. Las distintas categorías en que puede dividirse el coste total son

<b>Costes directos</b>	Costes directos de personal
	Costes derivados de la amortización de equipos
	Costes de material
<b>Costes indirectos</b>	Consumo eléctrico
	Dirección y servicios administrativos.

#### 5.1 Desglose de costes de un producto

## 5.1 COSTES DIRECTOS

### *Costes de personal*

En este apartado se englobarán los costes directos debidos al personal. Un ingeniero se encarga del diseño del proyecto, de la construcción del mismo, del análisis del funcionamiento de dicho prototipo, del desarrollo de las aplicaciones software, así como de su mantenimiento y puesta a punto. Por tanto, se calcularán los costes de personal directo como el coste del ingeniero. Se plantea el cálculo a partir del precio de la hora trabajada.

La estimación del número de días trabajados al año se presenta en la tabla siguiente. Suponiendo la jornada laboral normal, es decir, de ocho horas.

Concepto	Tiempo
Año medio	365
Sábados y Domingos	104
Vacaciones	22
Días festivos	14
Días perdidos estimados	5
Total	220 días
X8 horas/día	1760 horas

#### 5.2 Coste de personal

El sueldo bruto anual ha sido estimado para un ingeniero junior. Para obtener el sueldo bruto, se le incrementa el 6,4% en concepto de seguridad social del trabajador. En la siguiente tabla se calcula el coste de la hora trabajada:

Concepto	Importe
Sueldo neto e incentivos	18000
Sueldo bruto e incentivos	19800
Seguridad social a cargo de la empresa	(31,9 %) 6316
Total	26116 €
1760 horas	14,8 €/hora

#### 5.3 Coste horario

Concepto	Número de horas
Tiempo de diseño y construcción	200
Desarrollo Software	200
Desarrollo Eléctrico	100
Pruebas	150
<b>TOTAL</b>	<b>650 horas</b>

5.4 Horas del proyecto trabajadas

El coste horario destinado al sueldo del trabajador se le ha de aplicar los costes por el alquiler del local, luz, calefacción, teléfono, servicios administrativos, etc. Por lo que el coste de un empleado por hora se incrementa hasta 30,70 €/hora.

El desglose en horas corresponde a varios empleados que han contribuido en la consecución del proyecto, han sido necesarios un ingeniero eléctrico, un ingeniero experto en hidráulica y mi parte que corresponde al diseño software. No obstante se hace una estimación real de lo que supondría a una empresa el realizar un proyecto de estas características si en lugar de un becario lo hubiera realizado un ingeniero junior.

Por tanto el coste puede hallarse multiplicando su coste horario por el número de horas empleadas en el proyecto.

$650 \text{ horas} \times 30,70 \text{ €/hora} = 19.955 \text{ €}$

Costes directos de personal = 19.955



### **Costes de material**

A continuación se detalla el coste de cada uno de los elementos del sistema.

Para el armario eléctrico y los elementos hidráulicos se han subcontratado a empresas externas para la construcción de los mismos siendo el coste del armario el siguiente:

<b>ARMARIO ELÉCTRICO</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
Armario con placa de montaje 600x600x300	1
Seccionador de entrada 2 polos 20 A , Amarillo- Rojo	1
Magnetotérmico protección fuente alimentación C60N 10A 2 polos NC	1
Protección Diferencial 2 polos 25 A 300 mA Superinmunizado	1
Fuente alimentación	1
Distribuidor de bornas de Legrand 24Vdc 40A	1
Fusible 4 A	1
Fusible 3 A	1
Fusible 2 A	3
LED rojo 24V anomalía eléctrica	1
LED blanco 24V Potencia 24 Vcc ON	1
Seta emergencia panel 1NA+2NC	1
Seta emergencia mesa control 1NA+2NC	1
Avisador luminoso naranja 24 Vdc Naranja	1
Convertidor señales 5V a 24 V	2
Relé 4 contactos Conmutador de Señal de referencia a Controlador PI	1
Relé 4 contactos Válvula Descarga	1
Relé 4 contactos Válvula Bloqueo	1
Relé 4 contactos Avisador Visual Ensayo	1
<b>TOTAL</b>	<b>2388,30 €</b>

#### **5.5 Coste Armario Eléctrico**

ELEMENTOS HIDRAULICOS	
SERVOACTUADOR	
Descripción	Unidades
Servocilindro de MOOG	1
Servovalvula de MOOG D761-3005B	1
Sensor desplazamiento LVDT SX12 V150	1
Acumulador 1L precarga 170 bar	1
Acumulador 1L precarga 40 bar	1
Magneto	1
Conector Base	1
Conector aéreo	1
<b>SUBTOTAL</b>	<b>13.375 €</b>
BLOQUE DE ACUMULADORES	
Descripción	Unidades
Bloque con acumuladores de presión y retorno de 5 litros, con maniobra de bloqueo de línea de presión y descarga de acumuladores.	1
<b>SUBTOTAL</b>	<b>3.230 €</b>
Mangueras hidráulicas	278.77
<b>TOTAL</b>	<b>16,882.00 €</b>

## 5.6 Coste de elementos hidráulicos

SENSORES Y ACONCIONADORES	
Descripción	Coste Total
Célula de carga TC 4 de AEP + Plato para montaje tracción/compresión	535,76
Acelerómetro +cable + imán para sujeción en el cilindro	702,82
Servocontrolador P-I Moog G122-829	670
Acondicionador Célula de carga M012-E060012A de Moog	198
Acondicionador Sensor LVDT SX3120	368
<b>TOTAL</b>	<b>2274,3 €</b>

## 5.7 Coste de Sensores y Aconcionadores



TARJETA DE ADQUISICIÓN Y CAJA DE CONEXIONES	
Descripción	Coste Total
Tarjeta PCI 6221 de NI	539,35
Caja de conexiones BNC 2110 mas cable	412,6
<b>TOTAL</b>	<b>951,95 €</b>

5.8 Coste Tarjeta PCI y caja de conexiones

SOFTWARE Y ORDENADOR			
Descripción	Coste unitario	Unidades	Coste Total
Ni Developer Suit Core(3284,27 €)	0,37€/h	400 h	148
PC Fujitsu	460,17 €	1	460,17
Monitor 17" Philips	112,2 €	1	112,2
<b>TOTAL</b>		<b>720,37€</b>	

5.9 Coste Software y ordenador

CANALETAS			
Descripción	Coste unitario	Unidades	Coste Total
Canaleta	2,36 €/m	15m	35,4
Tapa de canaleta	0,75 €/m	15m	11,25
Ángulo exterior	4,15	1	4,15
Derivador en T	5,76	1	5,76
<b>TOTAL</b>		<b>56,56 €</b>	

5.10 Coste canaletas





CABLES Y CONECTORES			
Descripción	Coste unitario	Unidades	Coste Total
Conector militar	4,45	16	71,26
Conector hembra	5,94	3	17,82
Conector electroválvula	5,30	2	10,60
Tapón conector	19,70	8	157,6
Cable 2x0,22	0,32 €/Mtr	25 Mtrs	8
Cable 3x2x0,22	0,65 €/Mtr	30 Mtrs	19,50
Cable 4x2x0,22	0,79 €/Mtr	36 Mtrs	28,44
Cable 6x2x0,22	0,89 €/Mtr	30 Mtrs	26,70
Cable 16x0,34	1,62 €/Mtr	15 Mtrs	24,3
Cable CU 3x1,5	0,73 €/Ud	15 Mtrs	10,95
Cable VV-K 500V 8x0,5	0,62 €/Ud	25 Mtrs	15,62
Conector BNC	3,22	7	22,54
<b>TOTAL</b>		<b>415,31 €</b>	

5.11 Coste cable y conector

GESTION DE COMPRAS, TRANSPORTES y EMBALAJES.			
Descripción	Coste unitario	Unidades	Coste total
Eléctrico-Control	55	1	55
Software-Hardware	55	1	55
Mecánico	55	1	55
<b>TOTAL</b>		<b>165 €</b>	

5.12 Coste de gestión de compras



### **Otros costes indirectos**

Se engloban en este apartado materiales empleados en la realización del proyecto, pero que no aparecen físicamente en el excitador:

- Material fungible de oficina: papel de impresora, fotocopias, bolígrafos...
- Material fungible de laboratorio: estaño para soldar, cola industrial...
- Documentación

Concepto	Importe
Coste de material fungible (oficina)	50
Coste de material fungible (Laboratorio)	30
Coste de la documentación	60
<b>TOTAL</b>	<b>140 €</b>

#### 5.13 Otros costes directo

## 5.2 RESUMEN DE COSTES

RESUMEN DE COSTES	
Descripción	Importe
<b>PERSONAL</b>	
- COSTES DIRECTOS DE PERSONAL	19.955,0
<b>SUBCONTRATACIÓN</b>	
- ARMARIO ELÉCTRICO	2388,3
- ELEMENTOS HIDRÁULICOS	16605
<b>EQUIPO</b>	
- SENSORES Y ACONCIONADORES	2474,58
- TARJETA DE ADQUISICIÓN Y CAJA DE CONEXIONES	951,55
- SOFTWARE Y ORDENADOR	720,37
- CANALETAS	56,56
- CABLES Y CONECTORES	329,39
<b>COSTES INDIRECTOS</b>	200
<b>GESTION DE COMPRAS</b>	165
<b>OTROS COSTES</b>	
• Serigrafía Armario	85,34
• Bridas, Tornillos, Elementos de fijación,...	35,6
<b>TOTAL</b>	<b>43966,09 €</b>

### 5.14 Resumen de costes

### 5.3 COSTES DEL SISTEMA PORTABLE

Se va a detallar el coste que conlleva la fabricación del prototipo portable y las diferencias de costes con respecto al sistema anterior. Se va a hacer un cálculo detallado para 2 canales y un resultado final para 4 canales.

CONCEPTO	HORAS
Tiempo de diseño y construcción	100
Modificaciones Software	120
Diseño eléctrico	25
<b>TOTAL</b>	<b>245 Horas</b>

5.15 Horas de proyecto trabajadas

En el apartado anterior se detallaba el coste ingeniero junior por hora que resulta ser 30,70€/h. por lo que el coste total del personal seria:

Costes directos de personal:  $245h \times 30,70 \text{ €/h} = 7522 \text{ €}$

A continuación se detallan los costes asociados al equipo:

RACK Y COMPONENTES			
Descripción	Coste Unitario	Unidades	Coste Total
Rack de 19", 3U con profundidad de 495mm mecanizado	840,30	1	840,30
Fuente Alimentación Puls SL4.100 24V	113,3	1	113,3
Ventilador Maglev AC Axial Fan 80X80X25 230Vac	29,17	1	29,17
Filtro metálico de apantalla. 80x80mm	14,8	1	14,8
Conector con reborde negro,10A 250V	2,08	1	2,08
Seta de emergencia de Telemecanique de 30mm Ø	19,78	1	19,78
Conector Ethernet	32,34	1	32,34
Led por canal	3,86	2	7,72
Piloto Rojo , indicador de anomalía	6,22	1	6,22
Conector BNC	3,22	14	45,08
Interruptor 1601 HM11E OFF-MOM de Eaton	5,5	1	5,5
<b>TOTAL</b>			<b>1116,29 €</b>

5.16 Coste del Rack y componentes

En la tabla siguiente se detalla el precio del CompactRio para 2 canales y posteriormente para 4 canales. Se puede ver que el incremento de precio para el doble de canales no es “elevado” para lo que resulta de este tipo de equipos.

<b>COMPACTRIO Y MODULOS NI</b>			
Descripción para 2 canales	Coste unitario	Unidades	Coste total
NI Crio 9074	2124,15	1	2124,15
NI 9237 Módulo de extensimetría de 4 canales	934,15	1	934,15
NI 9949 adaptador RJ50	143,15	1	143,15
Cable para RJ50	24,65	1	24,65
NI 9205 Módulo de entradas analógicas	636,65	1	636,65
NI 9264 Módulos de salidas analógicas	721,65	1	721,65
NI 9403 Módulos de entradas/salidas digitales	288,15	1	288,15
Conector de D-SUB a Terminales atornillados	100	1	100
Cable Ethernet (5 m )	19	1	19
Programa Estándar de garantía del sistema	340	1	340
<b>TOTAL</b>			<b>5331,55€</b>

5.17 Costes del CompactRio y de los módulos NI para 2 canales

El coste para 4 canales se ve incrementado por la necesidad de utilizar un módulo más de extensimetría, además del adaptador y el cable de conexión, por lo que el precio total para 4 canales es de **6432,5 €**.

### 5.3.1 Resumen costes del sistema portable

En el resumen de costes se calcula únicamente el coste del controlador portable, no se van a incluir los costes generales para ambos sistemas como pueden ser sensores, gastos de compra, etc.

<b>COSTE SISTEMA PORTABLE</b>	
Descripción	Importe
<b>COSTES DIRECTOS DE PERSONAL</b>	<b>7522</b>
<b>RACK</b>	<b>1116,29</b>
<b>COMPACTRIO Y MÓDULOS PARA 2 CANALES</b>	<b>5331,55</b>
<b>TOTAL PARA 2 CANALES</b>	<b>13869,84 €</b>
<b>TOTAL PARA 4 CANALES</b>	<b>14.962 €</b>

5.18 Resumen de costes del sistema portable

### 5.3.2 Comparativa Sistema fijo y Sistema portable

Se va a hacer una comparación de costes de ambos sistemas sin tener en cuenta los costes generales comunes a ambos equipos y se realizara para 2 canales.

En el sistema fijo se contabilizan los costes asociados al armario eléctrico, Tarjeta PCI 6221, caja de conexiones BNC 2110, cable de comunicación, acondicionador de célula de carga que en el sistema portable no es necesario y el servocontrolador PID para 2 canales, además de la diferencia de horas por el diseño eléctrico.

En el sistema portable se contabilizan los costes del Rack, CompactRio y sus módulos. Además de las diferencia de horas por las modificaciones en el software.

La diferencia de costes de *Software* es difícil de contabilizar ya que se parte de un sistema para realizar otro. Ambas aplicaciones tienen un camino de desarrollo común hasta un punto, a partir de ahí el desarrollo es particular para cada aplicación. Se considera una diferencia de 60 horas más para el sistema portable.

SISTEMA FIJO			
Descripción	Coste unitario	Unidades	Coste total
Armario Eléctrico	2388,3	1	2388,3
Tarjeta PCI	539,35	1	539,35
Bloque conector y cable	412,6	1	412,6
Servocontrolador PID	670	2	1340
Acondicionador Célula de carga	198	2	396
Diferencia Desarrollo eléctrico	30,7 €/h	75 h	2302
<b>TOTAL</b>			<b>7378,25 €</b>

5.19 Coste Sistema fijo



<b>SISTEMA PORTABLE</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Coste unitario</b>	<b>Unidades</b>	<b>Coste total</b>
<b>Rack</b>	<b>1116,29</b>	<b>1</b>	<b>1116,29</b>
<b>CompactRio y Módulos</b>	<b>5231,55</b>	<b>1</b>	<b>5231,55</b>
<b>Diferencia Desarrollo Software</b>	<b>30,7 €/h</b>	<b>60 h</b>	<b>1842</b>
<b>TOTAL</b>	<b>8189,84 €</b>		

#### 5.20 Coste sistema portable

La diferencia de costes no es significativa para lo que se refiere al coste total del proyecto por lo que un sistema portable con un controlador de las características del CompactRio , es la mejor opción como controlador servohidráulico ,cierto es que el sistema portable está muy por encima en cuanto a prestaciones se refiere para esta aplicación, pero por prácticamente el mismo coste tenemos un equipo mucho más avanzado que si se diera la necesidad se pueden desarrollar aplicaciones que no serian posible integrar en el sistema fijo además de la ventaja que conlleva el uso de un sistema portable.



# 6 CONCLUSIONES



El objetivo final que hemos desarrollado en este proyecto, ha consistido en un sistema de excitación y control servohidráulico. Un sistema de excitación controlada para la realización de estudios de análisis modal experimental sobre estructuras. En particular este sistema se utiliza en ensayos, en los que un sistema de suspensión de un automóvil es sometido a un estado de ciclos de carga.

Para ello se han planteado dos soluciones para el control del sistema:

- Se ha desarrollado un sistema fijo para el que se ha creado una aplicación en Labview que permite el control de todo el grupo. El sistema puede generar de forma local desde la propia aplicación que corre en el PC o bien de forma remota por un controlador externo, Abacus. Esto no quiere decir que el Abacus controle el sistema, si no que la generación de perfiles es llevada a cabo por este controlador.

Cuando el sistema es gobernado de forma local, la señal de referencia al controlador P-I es llevada a cabo por la tarjeta PCI que es gestionada por la aplicación implementada en Labview que permite:

- Interfaz con el usuario para introducir las condiciones deseadas de ensayo.
- Generación de señales de referencia para el cilindro.
- Ordenes de movimiento.
- Visualización de señales
- Realización de ensayos en lazo cerrado.
- Gestión de las seguridades necesarias en la máquina: límites de desplazamiento del cilindro, emergencia, etc.

Cuando se genera de forma remota la señal de referencia al controlador P-I se lleva a cabo por el Abacus, por lo que en la aplicación en Labview únicamente permite la visualización de las señales y de los estados, además de controlar los estados de alarma. El Abacus además de generar la señal de consigna, ofrece altas prestaciones en el análisis de datos en tiempo real que permite realizar análisis modal experimental.

- La segunda solución que se ha planteado en este proyecto se trata de un sistema portable que cumpla como mínimo con las características del sistema anterior manteniendo la misma funcionalidad de la aplicación creada.

Para ello se ha llevado a cabo un estudio hardware y se ha visto cómo incorporar la aplicación anterior en el nuevo sistema. Se ha sustituido la tarjeta de generación PCI de National Instruments sin inteligencia y el controlador analógico externo de MOOG por una plataforma que permita generación, adquisición y control en lazo cerrado, para ello se han tenido que realizar algunas modificaciones en el Software.

Se ha buscado que este nuevo equipo tenga un mayor rendimiento por lo que el tiempo de ciclo, el tamaño y el precio han sido factores determinantes a la hora de seleccionar el controlador.

Los equipos que se han analizado han sido, un CompactRio, un PXI y un Beckhoff., decantándonos por el CompactRio por su precio, su tamaño (los demás superan las dimensiones de 3U, que es la altura máxima del rack en el que se va a integrar) y además nos permite alcanzar el tiempo de ciclo que buscamos. Por lo que el CompactRio permite generación, adquisición y control en lazo cerrado sin problemas.

El sistema portable consigue un control más robusto y más amplio ya que podemos controlar no solo en fuerza y desplazamiento si no también en presión con unas prestaciones mayores a un coste muy similar al sistema anterior.

Este sistema ofrece una gran flexibilidad y una fácil integración en ensayos en los que se necesita de un equipo de excitación y control servohidráulico, además ofrece la posibilidad de integrar mejoras más fácilmente que el sistema fijo únicamente realizando las modificaciones necesarias en el software. Se ha configurado de manera que se pueda controlar hasta 4 cilindros pero con los módulos seleccionados se podría incluso llegar a controlar 8 canales ya que hay capacidad en el CompactRio para insertar mas módulos.

La diferencia de costes entre ambos sistemas, como se detalla en el capítulo anterior, no es significativa para lo que se refiere al coste total del proyecto por lo que un sistema portable con un controlador de las características del CompactRio, es la mejor opción como controlador servohidráulico, cierto es que el sistema portable está muy por encima en cuanto a prestaciones se refiere para esta aplicación, pero por prácticamente el mismo coste tenemos un equipo mucho más avanzado que si se diera la necesidad se pueden desarrollar aplicaciones que no serían posible integrar en el sistema fijo además de la ventaja que conlleva el uso de un sistema portable.



Por último he de remarcar la importancia y los beneficios de entrar como becario y poder hacer el proyecto de fin de carrera en una empresa externa. No sólo te proporcionan un primer contacto con el mundo laboral, sino que además te ayudarán a adquirir las cualidades, conocimientos y habilidades profesionales que exigen las empresas para acceder a un puesto de trabajo dándote la experiencia que hoy en día es fundamental para abrirse paso en el mundo laboral.



# 7 ANEXOS

**Descripción:** Se agrega para ampliar la información y demostrar los datos y suposiciones del diseño e implementación realizados.



## **7.1 BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Lajara Vizcaíno, José Rafael: “LabView: entorno gráfico de programación” (Marcombo, 2007)
- [2] 'Instrumentacion Electronica Moderna y Tecnicas de Medicion' de W. Cooper. Editorial Prentice Hall 1982.
- [3] Floyd Wilder, A Guide to the TCP/IP Protocol Suite, Second Edition.
- [4] David M. Piscitello, A. Lyman Chapin, Dave Piscitello, Bellcore Chapin Open Systems. Networking: Tcp/Ip and Osi (Addison-Wesley Professional Computing).
- [5] LabVIEW Basico I.. Ed. National Instruments.
- [6] LabVIEW Basico II. Desarrollo.. Ed. National Instruments.
- [7] LabVIEW Advanced Application Development.. Ed. National Instruments.
- [8] LabVIEW Acquisition and Signal Conditioning.. Ed. National Instruments.
- [9] LabVIEW 8.1 Programacion Grafica para el Control de Instrumentacion. Antoni Manuel Lazaro, Joaquin del Rio Fernandez. Ed. Thomson.
- [10] Learning with LabVIEW 10.0.. Robert H. Bishop. Ed. Pearson Prentice Hall.
- [11] Olsson, Gustaf y Piani, Gianguido: “Computer Systems for Automation and Control” (Prentice Hall PTR, 1992).
- [12] Mihura, Bruce: “LabVIEW for data acquisition” (Prentice Hall PTR, 2001)
- [13] Teoría y Práctica del Análisis modal Garcia de Jalon de la Fuente (1994)
- [14] PID Controllers: Theory, Design and Tuning Karl J. Astrom y T. Hagglund. (Isa linternacional, 2004)
- [15] Sensores y acondicionadores de señal Ramon Pallas Areny (Marcombo 2003)



*Páginas Web consultadas*

[16] Web de National Instrument [www.ni.com](http://www.ni.com)

[17] Web de Moog [www.moog.com](http://www.moog.com)

[18] Web de Sensing [www.sensing.es/](http://www.sensing.es/)

[19] Web de Linker [www.linker.es](http://www.linker.es)